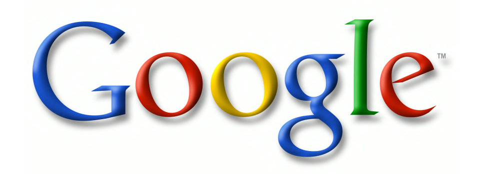
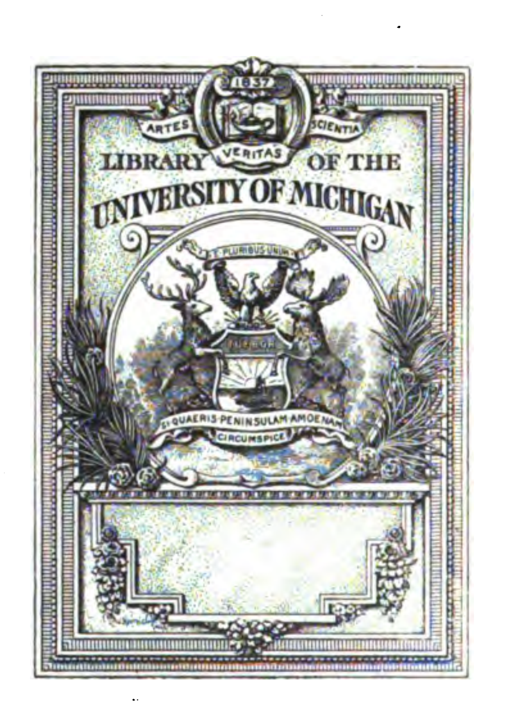
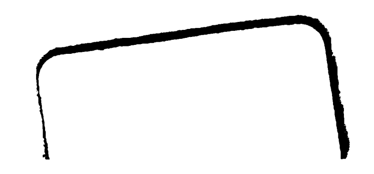




1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



THEORIE UND PRAXIS

DER

VENTILATION UND HEIZUNG.

BESONDERS FÜR

HEIZUNGSTECHNIKER,

SOWIE FÜR

ARCHITEKTEN, BAUHANDWERKER UND BAUHERREN.

ZUGLEICH

EIN LEHRBUCH ZUM SELBSTUNTERRICHTE

UND ZUM GEBRAUCHE BEI VORLESUNGEN ÜBER

BAULICHE GESUNDHEITSLEHRE.

VON

DR. ADOLF WOLPERT,

PROFESSOR DES BAUFACHES AN DER K. INDUSTRIESCHULE IN NÜRNBERG.

NEUE DURCH EINEN

SIEBEN ABHANDLUNGEN AUS DER WOHNUNGS-HYGIENE

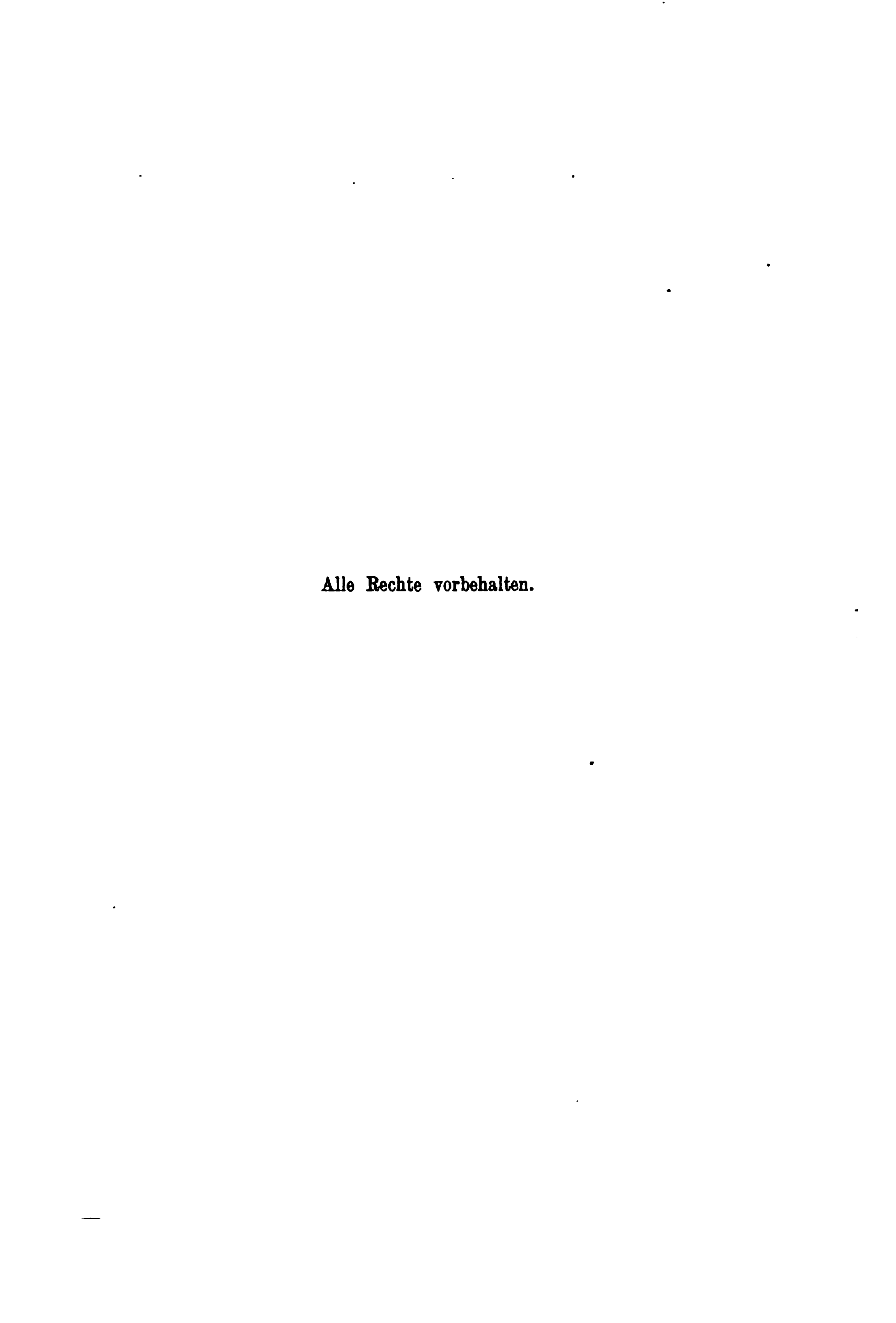
UMFASSENDEN ANHANG ERGÄNZTE AUSGABE

DER ZWEITEN AUFLAGE (1880).

MIT 431 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG, 1887.

BAUMGÄRTNER'S BUCHHANDLUNG.



Vorbericht.

Gelegentlich des unlängst erfolgten Uebergangs dieses Werkes in einen andern Verlag hatte die neue Verlagshandlung sich erboten, einen kurzen Anhang, wodurch das Buch dem heutigen Stande der Hygiene und Technik auf dem Gebiete der Heizung und Lüftung entsprechend vervollständigt würde, wenn möglich ohne Preiserhöhung dem Buche beizufügen. Das war mir willkommen, da ich selbst schon gewünscht hatte, Gegenstände neuerer eigner und fremder Arbeiten dem Buche einzuverleiben, und so ist die vorliegende, lediglich durch Beifügung eines solchen Anhangs ergänzte, im Uebrigen jedoch völlig unverändert gebliebene Ausgabe entstanden.

Es sind in den sieben Jahren seit Herausgabe der zweiten Auflage des Buches auf diesem wichtigen Gebiete der Gesundheitslehre und Gesundheitstechnik zwar nicht solche Umwälzungen geschehen, dass die ältere Fachliteratur viel von ihrem Werthe verloren hätte; doch haben sich manche Anschauungen mehr geklärt und sind zahlreiche Neuerungen zu Tage gekommen. Viele dieser Neuerungen stellen werthlose Dinge vor, die der Vergessenheit anheim fallen mögen, viele aber Verbesserungen, die weitere Verbreitung verdienen, manche auch Gegenstände, von deren Anwendung abzurathen, vor welchen sogar zu warnen ist.

Nicht alles Wichtige freilich, was Patentblätter und Zeitschriften gebracht haben, kann in diesem Nachtrage auch nur angedeutet werden. Man wird die Wiedergabe solcher Veröffentlichungen hier nicht erwarten.

In den sieben Abhandlungen des Anhangs glaube ich solche Fragen und diese in solcher Weise behandelt zu haben, dass damit eine Schrift dargeboten ist, die sowohl den Besitzern des Buches eine willkommene und nützliche Ergänzung desselben sein wird, als auch für sich allein als Ganzes und in den einzelnen Theilen mit Nutzen gelesen werden kann.

Ich beginne mit einer Abhandlung über Reinheit der Zimmerluft. Hier sind irrthümliche Ansichten zu berichtigen, wichtige Mit-

theilungen neuerer Forschungen über Luftstaub und Mikroorganismen zu machen, ferner neuere und neueste Methoden und Apparate zur Luftprüfung vorzuführen.

Wenn ich dann über rationelle Heizung und Lüftung spreche, kann ich nicht umhin, über manche Ansichten und Vorschläge, welche in dem von Haesecke deutsch bearbeiteten preisgekrönten Buche: Die rationelle Heizung und Lüftung von Ed. Deny niedergelegt sind, ein abfälliges Urtheil zu begründen. Ich muss daher hier um so mehr hervorheben, dass dieses Buch und namentlich der Anhang von Haesecke auch viel Vortreffliches und Beherzigenswerthes enthält und von Jedem, der diese Blätter liest, ebenfalls gelesen werden sollte.

Einiges über die viel besprochene Niederdruck-Dampfheizung zu sagen und auf Mängel und Verbesserungen derselben sowie auf die Einrichtungen und Vorzüge der Wand- und Fussbodenheizung hinzuweisen, ist gewiss zeitgemäss.

Ueber Luftfeuchtigkeit, die ich als einen wichtigen Factor des Wohlbefindens betrachte, gehen die neueren Ansichten weit auseinander. Ihre Vergleichung bietet hohes Interesse.

Daran reihen sich Beschreibungen von Feuchtigkeitsprüfern und einfachen Mitteln zur Erhaltung des wünschenswerthen Feuchtigkeitsgrades der Zimmerluft.

Dann folgen neue Entwicklungen von Formeln der Luftgeschwindigkeiten bei Heizungs- und Lüftungsanlagen in möglichst anschaulicher Darstellung sowohl für Annäherungsrechnungen als auch mit Berücksichtigung der Bewegungswiderstände für verschiedene praktische Fälle, ferner Mittheilungen über mechanische Ventilation und Berechnungen solcher Anlagen. Die Berechnungsweisen unterscheiden sich in Kürze und Klarkeit vortheilhaft von den im Buche von 1880 gegebenen.

Der Gasheizung, welche in jenem Buche nur sehr kurz behandelt ist, habe ich hier eine längere Abhandlung gewidmet, weil sie gegenwärtig schon häufiger angewendet wird und voraussichtlich in nächster Zeit an Ausbreitung bedeutend gewinnt.

Als siebente und letzte Abhandlung bringe ich die Carbon-Natron-Heizung, theils zur Aufklärung unrichtiger Vorspiegelungen von geschäftlicher Seite, hauptsächlich aber zur Warnung vor dieser leicht gesundheitschädigenden Heizweise.

Nürnberg, im März 1887.

Dr. **Wolpert.**

Vorbericht der ersten Auflage.

Luft und Wärme — das sind, wie die Nahrung, unerlässliche Factoren unseres Seins; reichlicher Vorrath von Luft und Wärme ist Grundbedingung des Wachsthums, der Gesundheit, der Behaglichkeit. So oder ähnlich sprachen schon Viele vor mir; vielseitig sind auch die physiologischen Wirkungen jener beiden Lebensfactoren untersucht, und es fehlt nicht an Schriften, die über Luft und Wärme in Rücksicht auf das physische Wohl, über Ventilation und Heizung handeln. Ob aber diese Schriften genügend sind für Denjenigen, der, ohne anderweitige wissenschaftliche Studien gemacht zu haben, in der Lage ist, bei complicirteren, von den gewöhnlichen Fällen abweichenden Verhältnissen eine Anlage für Ventilation oder Heizung zu beurtheilen oder zu entwerfen, — das ist eine Frage, die sich Jeder beantwortet haben wird, der sich einmal in solcher Lage befand.

Die Pyrotechnik — und dahin muss man auch die Anlagen für Ventilation, die Nichts mit Feuerung zu thun haben, wegen des principiellen Zusammenhanges rechnen — ist unstreitig und leider von Seite der Wissenschaft bis jetzt am meisten unter allen Zweigen der Technik vernachlässigt geblieben, wenngleich Jedermann einsehen muss, dass die Ausbildung der Pyrotechnik von höchster und allgemeinster Wichtigkeit ist.

Man findet nun zwar in den Lehrbüchern der Physik die hauptsächlichsten Grundsätze, auf die der Vorgang bei jeder Ventilation und Heizung zurückgeführt werden kann. Gesetzt auch, es könnten jene Grundlehren genügen; entschliesst sich denn aber der ausführende Techniker, zumal in seinen alten Tagen, aus den Lehrbüchern das für den speciellen Fall Nöthige zusammenzusuchen und entsprechend zu verarbeiten? Gewöhnlich hat er nicht die Zeit, die Gelegenheit, die Geduld dazu. Viel lieber entschliesst man sich, die eigenen Einrichtungen bestehenden Anlagen nachzubilden. Nur zu oft misslingt aber eine solche nach Mustern angelegte Ventilation oder Heizung, weil die Umstände, welche dieselbe beeinflussen, verschiedene sind.

Die Meisten unserer Pyrotechniker sind Empiriker; nicht selten müssen die von ihnen ausgehenden, den Mittheilungen von Normalanlagen beigefügten allgemeinen oder speciellen Erklärungen von wissenschaftlicher Seite als unklar, ja geradezu als falsch bezeichnet werden. Der empirische Weg für sich allein ist, um sich auf demselben genügende Kenntnisse in der Pyrotechnik zu erwerben, ein allzusehr beschränkter. In ungewöhnlicher Weise ausgedehnt müsste die Praxis eines Mannes sein, dem sich während vieljähriger technischer Thätigkeit Gelegenheit zur Anordnung auch nur je einer pyrotechnischen Anlage für alle wesentlich verschiedenen Verhältnisse geboten haben sollte. Bewunderungswürdig wäre der Mann, der rein vom praktischen Gefühle geleitet unter allen diesen Verhältnissen stets das Richtige getroffen hätte. Welcher Praktiker hat nicht sein Wissen durch bittere Erfahrungen erkauft, die er sich vermöge theoretischer Untersuchungen erspart hätte? Dass selbst derjenige Jünger der Technik, der weder Ingenieur noch Architekt genannt zu werden beansprucht, der Zimmermann, der Maurer, der Steinhauer, der Bauhandwerker überhaupt das Bedürfniss fühlt, nicht Empiriker, nicht Praktiker als gedankenloser Nachahmer zu bleiben, dass er im Gegentheil den Nutzen theoretischer Studien mehr und mehr erkennt, das beweist der sich jährlich mehrende Zudrang zu den Baugewerkschulen, der gespannte Eifer, mit welchem daselbst Jünglinge und Männer dem Unterricht folgen. Als Lehrer der hiesigen Baugewerkschule, die von mehr als 500 Schülern aus allen Ländern besucht wird, habe ich mich überzeugt, dass gar oft ein Mann des Handwerks wahrhaft heissen Durst nach Gegenständen des Denkens, grössere Liebe zu wissenschaftlichen Untersuchungen in sich trägt, als mancher feine Zögling einer hohen Schule. Diese Ueberzeugung ist es, welche die Art und Weise der Abfassung des vorliegenden Werkchens rechtfertigen wird. Eine auf unumstössliche Gesetze der Physik basirte, selbst auch wissenschaftlich gehaltene Behandlung des Gegenstandes wird den meisten Lesern willkommen sein. In manchen Paragraphen wäre die Anwendung der höheren Mathematik für eine allgemeinere, gründlichere oder elegantere Behandlung sachdienlich gewesen; ich behielt jedoch bei der ganzen Bearbeitung die elementar wissenschaftliche Bildungsstufe vor Augen, auf welcher der Bauhandwerker steht oder stehen kann, wenn er nach dem dritten Winter die hiesige Schule verlässt. Es dürfte somit das Werkchen allgemein verständlich, populär genannt werden.

Als einleitender Theil, als Grundlage des Ganzen musste ein Abschnitt über das Gleichgewicht und die Bewegung flüssiger Körper vorangehen; ohne die Kenntniss der darin vorgeführten Gesetze ist gründliches Verständniss oder gar die nöthige Berechnung einer Anlage für Ventilation oder Heizung nicht möglich. Es ist somit dieser erste Abschnitt für Diejenigen,

die wenig Gelegenheit hatten, sich mit physiakalischen Untersuchungen zu befassen, durchaus nothwendig; von Anderen dürfte eine kurze Zusammenstellung der als Fundament der Pyrotechnik dienenden Lehren ebenfalls willkommen genannt werden. Ueberdies wird man darin Untersuchungen von entschiedener Wichtigkeit leichtfasslich durchgeführt finden, die in Werken der Physik und Mechanik nicht gefunden werden.

Der zweite Abschnitt behandelt das Wichtigste aus der Wärmelehre. Es sind darin theilweise neue Ansichten niedergelegt, die, wie ich hoffe, eine ziemlich klare Auffassung derjenigen Begriffe aus der Wärmelehre, welche in der Pyrotechnik häufig vorkommen, gestatten werden.

Dass sich hieran ein Abschnitt über die atmosphärische Luft und über deren Veränderung unter verschiedenen Umständen, dann ein Abschnitt über Luftverderbniss reiht, rechtfertigt sich von selbst; den Körper, den man behandeln will, muss man zuerst kennen. In Verbindung mit diesen Mittheilungen glaube ich in Bezug auf das Verhalten des Wasserdampfes in der Luft und namentlich in Bezug auf Luftverdünnung interessante und grossentheils neue Aufschlüsse zu geben.

Im fünften Abschnitte folgen Anleitungen für die Einrichtung von Ventilationsanlagen unter allen wesentlich verschiedenen Umständen. Dass ich in Beziehung auf die Behandlung dieses Stoffes, in Betreff der Vorschläge zur Ventilation durch Temperaturdifferenzen und andere atmosphärische Einflüsse Gegner finden werde — das sehe ich voraus. Manchem wird es sonderbar vorkommen, dass man sich noch mit solchen Gedanken beschäftigen kann, nachdem in neuerer Zeit in und ausser Deutschland so vielseitig den Ventilationsmaschinen der Vorzug vor allen übrigen Ventilationsanlagen eingeräumt worden. Wenn ich trotzdem solche Maschinen beinahe unerwähnt lasse, so habe ich meine Gründe dafür. Einmal findet man in neuesten Werken wie in technischen Zeitschriften solche mechanische Apparate in hinreichender Menge beschrieben; zweitens hat es kaum eine Schwierigkeit, sich die Wirkung einer solchen Maschine zu erklären, wenn man die Principien der durch unmittelbar natürliche Einflüsse zu erzielenden Ventilation kennt; drittens hat diese letzte Ventilationsweise für sehr viele Verhältnisse ihre entschiedenen Vorzüge vor der Ventilation mittelst Maschinen und ist noch nicht hinreichend ausgebildet, um darüber den Stab brechen zu dürfen.

Den sechsten Abschnitt bilden Abhandlungen über Luftheizung, welche hauptsächlich die Principien der Ventilation ergänzen sollen. Wenngleich der Begriff der Heizung hierbei vorzuwalten scheint, so mag man dabei doch mehr die Ventilation mittelst erwärmter Luft im Auge behalten. In diesem letzten Abschnitte habe ich der Frage über die durch die Luftheizung

angeblich verursachte Austrocknung der Luft eine ausgedehnte und, wie ich glaube, gründliche Beleuchtung gewidmet; dieses aus dem Grunde, weil seit dem Aufkommen der Luftheizung fort und fort die Klage über Austrocknung der Luft die Luftheizung und damit die Wohlthat einer einfachen, zweckmässigen Heizung und Ventilation zu unterdrücken sucht.

In das Gebiet der Ventilation gehört es ohne Zweifel auch, die Verbreitung des durch Heizen und Kochen entstehenden Rauches in den Wohnungen zu verhüten, und gewiss ist das ein Gegenstand von allgemeinster Wichtigkeit. Aus diesem Grunde ist am Schlusse des Buches im Zusammenhange mit den allgemeinen pyrotechnischen Principien eine Anleitung zur Verhütung des Rauchens beigegeben. Wenngleich ich dabei zunächst die alltäglichen Raucherzeugungsapparate, die Oefen- und Herdfeuerungen vor Augen hatte, so wird doch dieser Theil auch Demjenigen, welcher mit Anlegung anderer Feuerungsapparate zu thun hat, vielfach willkommenen Aufschluss bieten.

Bei der Abfassung des Ganzen hat mich die Absicht geleitet, nicht sowohl Erklärungen vorhandener Anlagen zusammenzustellen, als vielmehr in systematischer Ordnung Principien zu entwickeln. Ich übergebe diese Principien der Oeffentlichkeit in der Hoffnung, bei Vielen zur Begründung, bei Anderen zur Befestigung und Ausdehnung der wissenschaftlichen Basis der Pyrotechnik einen Beitrag zu liefern, und so nicht nur dem materiellen, sondern auch dem geistigen Interesse der Menschheit zu dienen.

Holzminden, im Juli 1860.

Vorbericht der zweiten Auflage.

Das Buch, welches ich unter dem Titel „Principien der Ventilation und Luftheizung" vor zwanzig Jahren verfasste, also zu einer Zeit, als auf diesem Gebiete erst wenig geleistet war und ich überdies als junger Baucandidat kaum einen Blick in die Praxis gethan hatte, war erklärlicher Weise ein Buch von vorwiegend theoretischem Inhalt, ist aber von der Wissenschaft und Technik so günstig aufgenommen und bis in die neueste Zeit so vielfach benützt worden, dass ich hätte an-

nehmen dürfen, eine zweite Auflage werde auch ohne wesentliche Veränderungen ein Vielen willkommenes Buch sein.

Willkommener wird es Jedem in der vorliegenden Abfassung sein, in welcher nicht nur der Inhalt der ersten Auflage im Wesentlichen wiedergegeben, sondern auch erweitert ist und vielfach praktische Nutzanwendungen mitgetheilt sind, die ich theils der neueren Literatur mit Angabe der Quellen, theils meinen eigenen Erfahrungen entnommen habe.

Die Aenderung des Titels ist damit gerechtfertigt. Ich habe der Praxis und Theorie in gleichem Masse Rechnung getragen, wie es eben sein muss, will man sich auf diesem Gebiete mit Sicherheit bewegen.

Die auf theoretischem Wege zu gewinnenden Resultate sind zwar unantastbar richtig, soweit sie logisch oder mathematisch aus richtigen Grundlagen entwickelt werden; allein diese richtigen Grundlagen zu finden, auf die schliesslich Alles ankommt, das ist Sache der Beobachtung, der Praxis. Es mögen also Theorie und Praxis Hand in Hand gehen. Das Buch bietet sowohl eine wissenschaftliche Basis, wie auch praktische Anleitungen für das Verständniss, die Beurtheilung und Ausführung von Ventilations- und Heizungsanlagen.

Die Abhandlungen erstrecken sich auf sämmtliche Ventilations- und Heizungssysteme, und es ist dasjenige eingeflochten, was nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft und Technik in hygienischer Hinsicht zu berücksichtigen ist. Dadurch ist das Buch auch dienlich für das Studium der baulichen Gesundheitslehre.

In der Behandlung des Stoffes habe ich mich weniger als in der ersten Auflage an die elementare Mathematik gebunden. Da die meisten Heizungstechniker heutzutage nicht mehr Empiriker, sondern an technischen Hochschulen gebildete Ingenieure sind und auch an den technischen Mittelschulen den mathematischen Lehrgegenständen reichliche Pflege gewidmet wird, habe ich die Anwendung der höheren Mathematik nicht ausgeschlossen. Doch betrifft dieses nur Entwickelungen, deren Studium nicht durchaus nothwendig ist. Für die Anwendung genügen die entwickelten einfacheren Formeln oder Resultate.

Den Inhalt und dessen Eintheilung betreffend ist gegenüber der ersten Auflage das theoretische Fundament vertieft und verbreitert durch den neuen ersten Abschnitt: *Allgemeine Vorstudien*. Darin sind die wichtigsten Grundbegriffe der Physik, Mechanik und Chemie zusammengestellt, deren Kenntniss in den folgenden Abschnitten vorausgesetzt werden muss.

Der 2. Abschnitt, über *das Gleichgewicht und die Bewegung von Flüssigkeiten* hat wichtige Erweiterungen erfahren.

Der 3. Abschnitt, von der *Wärme*, ist auf Grundlage der mechanischen Wärmetheorie umgearbeitet worden.

Der 4. Abschnitt, von der *atmosphärischen Luft*, ist namentlich in Bezug auf Hygrometrie und Anemometrie bedeutend bereichert.

Der 5. Abschnitt, über *Luftverderbniss und Gegenmittel*, ist durch Beifügung ausführlicher Mittheilungen über Desinfectionsmittel und Geruchverschlüsse vervollständigt.

Im 6. Abschnitt, *Ventilation*, sind interessante und hygienisch wichtige Abhandlungen über allgemeine Ventilationsfragen und über natürliche Ventilation hinzugekommen, sowie Erweiterungen in Betreff der Windkappen von saugender und pressender Wirkung, dann neue Untersuchungen und Mittheilungen über Luftleitung und mechanische Ventilation.

Der 7. Abschnitt, *Heizung*, bringt Abhandlungen über die Verbrennung, die Brennstoffe und Heizeffecte, die Lebens- und Beleuchtungswärme, Wärmetransmission und Feuerungsanlagen im Allgemeinen, dann über die verschiedenen Heizungssysteme.

Der 8. Abschnitt enthält als *verschiedene Anwendungen und Ergänzungen* Combinationen der voraus beschriebenen Heizungs- und Ventilations-Einrichtungen, Beschreibungen von Control- und Alarm-Vorrichtungen und Luftbefeuchtungs-Apparaten, Abhandlungen über die Lufttrockenheits- und Kohlenoxydfragen, über die relative Zweckmässigkeit der verschiedenen Heizmethoden, über Luftkühlung, Trocknung feuchter Gegenstände, geruchlose Abtritte, zum Schlusse, wie in der ersten Auflage, Mittheilungen über die Ursachen und Verhütungsmittel des Rauchens der Feuerungsanlagen.

Wie in der „Ankündigung“ bei Ausgabe der ersten Hälfte des Buches gesagt ist, hatte ich die Absicht in Beispielen und Kritiken sowohl musterhafte als verfehlte Einrichtungen für Heizung und Ventilation von Wohnungen und öffentlichen Gebäuden, auch von Eisenbahnwagen, zu besprechen. Ich habe davon schliesslich Abstand genommen, um das Buch nicht zu umfangreich und zu theuer werden zu lassen, auch die vielseitig mit Ungeduld erwartete Herausgabe der Schlusslieferung nicht länger zu verzögern. Diese Streichung kann ich um so mehr verantworten, da ähnliche Besprechungen im Anhange des 1878 erschienenen Buches: „Stäbe's Preisschrift über die zweckmässigsten Ventilationssysteme“ von mir selbst gegeben sind und — namentlich in Bezug auf Beispiele ausgeführter Ventilationsanlagen mit Rücksicht auf Heizung — jenes kleine Buch zur Ergänzung dieses grösseren dienen mag.

Kaiserslautern, im Juni 1880.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichniss.

Dritter Abschnitt.

Von der Wärme.

Vierter Abschnitt.

Die atmosphärische Luft, ihre Feuchtigkeit und ihre Bewegungen.

Fünfter Abschnitt.

Seite

Luftverderbniss und Gegenmittel.

Sechster Abschnitt.

Ventilation.

Mechanische Ventilation.

Verluste an lebendiger Kraft, Druckhöhe und Geschwindigkeit bei complicirteren Leitungen.

Siebenter Abschnitt.

Heizung.

Allgemeine Erklärungen und Untersuchungen.

Emission und Transmission der Wärme.

Die Feuerungsanlagen.

Die Kaminheizung.

Die Stubenofenheizung.

Die Kanalheizung.

Die Luftheizung.

Die Dampfheizung.

Die Wasserheizung.

Die Gasheizung.

Achter Abschnitt.

Seite

Verschiedene Anwendungen und Ergänzungen.

Berichtigungen.

S. 25 Z. 18 v. o. zu lesen überdies im statt über diesim.
„ 35 „ 15 „ u. „ „ die Flächeneinheit statt den Flächeninhalt.
„ 40 „ 10 „ u. „ „ den statt dem.
„ 82 „ 8 „ o. „ „ einen statt einem.
„ 84 „ 18 „ u. „ „ Aluminium statt Alumium.
„ 84 „ 8 „ u. „ „ Messing statt Messig.
„ 93 „ 20 „ u. „ „ welcher statt welche.
„ 95 „ 8 „ u. „ „ 3,4090 statt 0,4046.
„ 121 „ 5 u. 6 v. u. zu lesen 23 u. 77 statt 24 u. 76.
„ 124 „ 19 v. o. zu lesen Holtzmann statt Holzmann.
„ 126 in der 4. u. 5. Gleichung P u. P_1 zu vertauschen.
„ 132 Z. 1 v. u. zu lesen 0,7318 statt 0,7218.
„ 141 „ 6 „ u. Pfund zu streichen.
„ 180 „ 12 „ o. zu lesen schwereren statt schweren.
„ 193 „ 6 „ u. „ „ vorstellt, statt vorstellt;
„ 219 „ 15 „ u. „ „ V_1^2, V_2^2 u. V^2 statt V_1, V_2 u. V.
„ 219 „ 11 „ u. „ „ $K L$, U, o statt $K L$, U, o.
„ 223 „ 3 „ o. „ „ 0,0003058 statt 0,0003056.
„ 233 u. S. 214 „ „ Langsdorf statt Langsdorff.
„ 238 Z. 1 v. u. „ „ dem statt den.
„ 238 „ 18 „ u. „ „ in III, IV. u. V statt ζ.
„ 310 „ 19 „ o. „ „ 0,2 pro Mille statt 0,2 Mille.
„ 323 „ 14 „ o. „ „ dem Rohrstück statt den Rohrstücken.
„ 369 „ 5 „ u. „ „ Begegnung statt Bewegung.
„ 454 „ 4 u. 6 v. o. zu lesen Ventilationsluft statt Luft.
„ 456 „ 20 v. u. zu lesen Dass statt Das.
„ 499 „ 4 „ o. „ „ 4 K statt 4 k.
„ 502 „ 12 „ u. „ „ Sonnenwärme statt Sommerwärme.
„ 556 „ 20 „ u. „ „ 1,43 statt 14,3.
„ 568 „ 15 „ o. „ „ aus statt auch.
„ 576 „ 16 „ u. „ „ jenem, welcher statt jener, welche.
„ 687 „ 16 „ o. „ „ der statt den.
„ 694 „ 7 „ u. „ „ Winckelmann statt Winkelmann.
„ 745 „ 7 „ u. „ „ erhitzen statt erhizen.
„ 919 „ 10 „ o. „ „ rasche statt rascher.
„ 929 „ 8 „ o. „ „ S. 506 statt 407.



Erster Abschnitt.

Allgemeine Vorstudien.

---

§. 1.

Einleitende Bemerkungen.
Materie, Kraft; Bewegung, Beharrungsvermögen.
Schwere, Gewicht, Gewichtseinheit.

Bewegungsvorgänge bei Luftmassen sind in diesem Buche in vielfältiger Weise zu behandeln, und dabei ist es von wesentlicher Wichtigkeit, die Ursache des Bewegungsvorgangs jedesmal klar zu erkennen. Viel verbreitet ist die Vorstellung von einem ganz besonderen der erwärmten Luft eigenthümlichen Steigbestreben und Ansaugungsvermögen. Wo ein sichtbarer, greifbarer Körper in Bewegung ist, da behauptet Niemand, diese Bewegung könne ohne Einwirkung einer Kraft zu Stande gekommen sein. Aber bei Erklärung von Luftbewegungen treten häufig Ansichten zu Tage, welche mit der alten Hypothese einer „Scheu der Natur vor dem Leeren" die grösste Aehnlichkeit haben.

Nicht immer zwar ist es leicht und einfach, Luftströmungen richtig zu erklären, und mit Recht sagt Pettenkofer, dass die Bewegung der Luft in einem Gebäude ein sehr complicirtes Phänomen sei. Jede Luftbewegung muss aber auf ein Naturgesetz zurückzuführen, durch die Wirkung von Naturkräften zu erklären sein.

Luft ist Materie, ein physisch körperliches Ding. Materie ist Alles, was einen Raum erfüllt, und jeden in bestimmte Grenzen eingeschlossenen und mit Materie angefüllten Raum, oder die begrenzte Materie, nennt man einen physischen Körper. Alles was verändernd auf die Materie einwirkt, ist Kraft. Insofern die Veränderung in einem

Ortswechsel eines Körpers oder auch nur der kleinsten Theile desselben besteht, heisst sie Bewegung. Man versteht deshalb unter Kraft auch Alles, was eine Bewegung hervorbringt oder im Stande ist, eine Bewegung aufzuheben.

Die Materie geräth von selbst weder in Bewegung aus dem Zustande der Ruhe, noch in Ruhe aus dem Zustande der Bewegung; zu solchem Uebergang aus einem Zustand in den andern ist immer eine Kraft nöthig. Beim Fehlen der Kraft als Ursache der Zustandsänderung würde das einmal Bewegte immerfort mit gleicher Richtung und Geschwindigkeit in Bewegung, das Ruhende immerfort in Ruhe bleiben.

Diese Eigenschaft der Materie nennt man Beharrungsvermögen, auch Inertie, Trägheit.

Eine fortwährend auf alle wägbaren Körper wirkende Kraft ist die Anziehung der Erde, die Schwerkraft oder Schwere. Der Druck, welchen ein Körper vermöge der Schwere auf eine horizontale Unterlage ausübt, heisst sein Gewicht. Schwere und Gewicht sind also verschiedene Begriffe.

Als Einheit des Gewichts dient uns das Kilogramm, nämlich das Gewicht von einem Cubikdecimeter oder Liter Wasser im Zustande der grössten Dichte.

§. 2.

Arten der Bewegung. Geschwindigkeit. Freier Fall.

Die Bewegung eines Körpers ist eine gleichförmige, wenn er in gleichen Zeittheilchen gleiche Wege zurücklegt.

Gleichförmig beschleunigt heisst die Bewegung eines Körpers, wenn in gleichen Zeittheilchen die zurückgelegten Wege gleich viel zunehmen, gleichförmig verzögert, wenn in gleichen Zeittheilchen die Wege gleich viel abnehmen.

Unter Geschwindigkeit versteht man gewöhnlich den Weg in einer Secunde. Bei Körpern, die sich nicht mit gleichförmiger Geschwindigkeit bewegen, bezeichnet man als Geschwindigkeit in einem bestimmten Weg- oder Zeitpunkt denjenigen Weg, welchen der Körper in jeder Secunde zurücklegen würde, wenn er sich von dort ab mit gleichförmiger Geschwindigkeit fortbewegen würde. Bezeichnet man bei der gleichförmigen Bewegung mit

v die secundliche Geschwindigkeit in Metern,

n die Zeit als Zahl der Secunden der betrachteten Bewegungsdauer,

l die während dieser Zeit zurückgelegte Weglänge in Metern,

so wird jede der drei Grössen leicht gefunden, wenn die beiden andern bekannt sind, nämlich nach den Gleichungen:

$$l = v \, . \, n \text{ Meter}$$

$$v = \frac{l}{n} \text{ Meter in der Secunde}$$

$$n = \frac{l}{v} \text{ Secunden.}$$

Es ist zuweilen erwünscht, gewisse Geschwindigkeiten annähernd schätzen, auch die Möglichkeit gewisser ungeheuer gross scheinenden Geschwindigkeiten einsehen zu können, und hiezu verhilft die Vergleichung mit bekannten Geschwindigkeiten. Deshalb und weil auch sonst von Interessē, mögen hier einige Beispiele von Geschwindigkeiten zusammengestellt werden.

In der Secunde legen zurück:

eine Fliege	1,5	bis	1,7	Meter,
ein rüstiger Fussgänger . . .	1,4	„	1,6	„
ein Schlittschuhläufer	10	„	12	„
ein Pferd im Trab	2,9	„	3	„
ein Pferd im Galop	8	„	9	„
ein englischer Wettrenner . . .	24	„	25	„
ein Postwagen	2,3	„	2,5	„
Strömung des Rheins	1	„	3	„
Dampfschiffe	4	„	8	„
Eisenbahnzüge	4	„	21	„
Brieftauben	30	„	32	„
Büchsenkugeln	400	„	1000	„
mässiger Wind	3	„	5	„
Sturmwind	12	„	20	„
Orkan	30	„	40	„
der Schall in der Luft bei einer Temperatur von 10° C. . .			333	„
ein Punkt der Erde unter dem Aequator bei der Drehung um die Erdaxe			469	„

Bei sehr grossen Geschwindigkeiten dient statt des Meters die Meile als Wegeinheit, gewöhnlich die geographische Meile = 7408 Meter.

Der Mittelpunkt der Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne macht in der Secunde über 4 geographische Meilen. Die Geschwindigkeit des Lichts ist über 40000, die der Elektricität über 60000 geographische Meilen in der Secunde.

Als Grundlage für die Berechnung der bei tropfbar flüssigen und luftförmigen Körpern bei irgend einer Bewegungsrichtung vorkommenden Geschwindigkeiten dienen die Gesetze vom freien Fall der Körper, weshalb das Hauptsächlichste davon hier Platz finden soll.

Die Fallbewegung eines Körpers aus einer gewissen Höhe gegen den Erdboden wird, ausser durch den Wind, auch durch den Widerstand der ruhigen Luft beeinflusst, und zwar um so mehr, je grösser die Oberfläche des fallenden Körpers, namentlich in horizontaler Richtung, im Verhältniss zu seinem Gewicht ist.

Um hiervon vorerst unabhängig zu sein, werde angenommen, der fallende Körper habe ein im Verhältniss zu seiner Grösse bedeutendes Gewicht, oder noch richtiger, das Fallen geschehe im luftleeren Raume, wo alle Körper gleich schnell fallen, eine Flaumfeder so schnell wie eine Bleikugel.

Die Bewegung des frei fallenden Körpers ist eine gleichmässig beschleunigte, weil die Anziehung der Erde, die Schwerkraft, der Geschwindigkeit des Körpers in jedem Zeittheilchen einen gleichen Zuwachs ertheilt. Der Körper würde schon in Folge des Beharrungsvermögens sich mit der einmal angenommenen Geschwindigkeit fortbewegen, wenn die Schwerkraft plötzlich aufhörte zu wirken. Da diese aber immer gleichmässig fortwirkt, beschleunigt sie auch das Fallen gleichmässig.

Die Geschwindigkeit, welche die beständig und gleichmässig wirkende Anziehung in der Nähe der Erdoberfläche einem frei fallenden Körper in jeder Secunde ertheilt, die Acceleration oder Beschleunigung der Schwere genannt und mit g bezeichnet, ist nach der Intensität ihrer Ursache, nach der grösseren oder geringeren Entfernung vom Mittelpunkt der Erde verschieden, sie beträgt

am Aequator	9,781 Meter
unter 45 Grad Breite	9,806 „
an den Polen	9,831 „

Man nimmt für unsere Breite $g = 9{,}81$ Meter an.

Ebenso gross ist also die Fallgeschwindigkeit am Ende der ersten Secunde.

Am Ende der zweiten Secunde ist die Fallgeschwindigkeit doppelt so gross, am Ende der dritten Secunde dreimal so gross, und nach n Secunden ist die mit v bezeichnete Endgeschwindigkeit

$$v = ng \quad \text{. . . . . (1}$$

Der Raum oder Weg, welchen der Körper in diesen n Secunden durchfallen hat, d. i. die Fallhöhe in n Secunden, wenn die Anfangsgeschwindigkeit Null und die Endgeschwindigkeit $v = ng$ war, ist offenbar

ebenso gross, als wenn der Körper sich gleichförmig mit der mittleren Geschwindigkeit aus o und ng also mit

$$\frac{o + ng}{2} = \frac{ng}{2} \text{ Meter in der Secunde}$$

n Secunden lang fortbewegt hätte. Bezeichnet man diese Fallhöhe mit h, so ist

$$h = n \cdot \frac{ng}{2}$$

$$h = n^2 \cdot \frac{g}{2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2$$

Von besonderer Wichtigkeit ist die Relation zwischen der Fallhöhe und Endgeschwindigkeit. Um diese Relation zu erhalten, bildet man aus den beiden Gleichungen 1 und 2 eine neue Gleichung, wobei die Fallzeit eliminirt wird.

Aus Gleichung 1 ist

$$v^2 = n^2 g^2,$$

also

$$n^2 = \frac{v^2}{g^2};$$

aus Gleichung 2

$$n^2 = \frac{2h}{g}$$

folglich

$$\frac{v^2}{g^2} = \frac{2h}{g}$$

woraus

$$v^2 = 2hg$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (3$$

Die einer gewissen Endgeschwindigkeit v zugehörende Fallhöhe h nennt man auch Geschwindigkeitshöhe, und der Ausdruck für diese ist aus Gleichung 3

$$h = \frac{v^2}{2g} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (4$$

Diese Beziehungen gelten ebenso für einen vertical in die Höhe geworfenen Körper, natürlich mit umgekehrten Bewegungserscheinungen. Wirft man einen Körper mit der Anfangsgeschwindigkeit v in die Höhe, so wird seine Geschwindigkeit fortwährend durch die Anziehungskraft der Erde vermindert, und zwar gleichmässig in jedem Zeittheilchen, bis sie Null wird. Dann hat der Körper die Höhe h erreicht und fällt nun wieder nach den entwickelten Gesetzen des freien Falles. Aufwärts war

die Bewegung eine gleichförmig verzögerte, abwärts ist sie eine gleichförmig beschleunigte.

§. 3.

Innere Beschaffenheit der Körper. Molekularkräfte. Aggregatzustände.

Mit absoluter Sicherheit lässt sich die innere Beschaffenheit der Körper nicht feststellen. Was aber gegenwärtig fast von allen Physikern und Chemikern angenommern wird, ist im Wesentlichen Folgendes:

Der besseren Anschaulichkeit wegen stelle man sich einen starren Körper vor; doch hat die Betrachtung in ähnlicher Weise auch für die tropfbar flüssigen und luftförmigen Substanzen allgemeine Geltung. Man kann sich den Körper chemisch und mechanisch so weit zerlegt denken, bis endlich feine Stäubchen entstehen, die nicht mehr weiter theilbar sind, und diese nennt man die Körperatome.

Atome sind demnach die kleinsten materiellen Theilchen, in welche eine Substanz zerlegbar ist, und es giebt so viele verschiedene Arten von Atomen, als es chemisch einfache Stoffe, Grundstoffe oder chemische Elemente giebt, also ungefähr 60. Die Atome sind unveränderlich, undurchdringlich, haben ein bestimmtes Gewicht, wahrscheinlich auch eine bestimmte Gestalt.

Die Atome von einem und demselben Stoffe sind einander in allen Eigenschaften vollkommen gleich, die Atome der verschiedenen Stoffe dagegen sind einander nicht gleich, sondern namentlich in Bezug auf Grösse und Gewicht von einander verschieden; alle Atome aber sind so klein, dass sie sogar mit dem besten Mikroskop nicht erblickt werden können, und alle gleichen oder ungleichen Atome ziehen sich gegenseitig um so stärker an, je näher sie einander liegen. Trotzdem kommen die Atome niemals so nahe zusammen, dass sie einander berühren, sie bleiben in verhältnissmässig grossen Entfernungen von einander, und die Zwischenräume, welche viel grösser sind als die Atome, sind mit dem äusserst feinen, elastischen Weltäther grossen Theils, aber nicht gänzlich ausgefüllt und lassen sich in gewissem Grade vergrössern und verkleinern, wobei die Atome auseinander rücken, oder einander näher kommen. Mehrere Atome gleicher oder verschiedener Art können sich zu einer Gruppe verbinden, welche Molekül, Massentheilchen, genannt wird.

Auch der Aether besteht aus Atomen, welche die Eigenschaft der Inertie, nicht aber die der Schwere besitzen, sehr klein im Verhältniss zu ihren gegenseitigen Abständen und zu den Körperatomen sind, sich

gegenseitig abstossen und von den Körperatomen angezogen werden. In Folge dessen wird der Aether in den Körpern atmosphärenartig die Körperatome oder Moleküle umgeben und zwar so, dass jede solche Aethersphäre eine bestimmte Form und Begrenzung hat, dass ferner nach aussen hin die Dichtigkeit der Aethersphäre abnimmt und der Raum zwischen zwei Körperatomen zum Theil leer ist.

Die Eigenschaft der Undurchdringlichkeit kommt demnach nur den Atomen zu, und die Körper können sich durchdringen, indem die Atome des einen sich in die Zwischenräume der Atome des andern lagern, auch durch jene Zwischenräume sich hindurchbewegen.

Als Molekularkräfte wirken die Cohäsionskraft und die Abstossungskraft einander entgegen; die Cohäsion folgt aus der gegenseitigen Anziehung der Körperatome, die Abstossung geht von dem die Atome umgebenden Aether aus. Sollen die Moleküle durch äusseren Druck einander genähert werden, so müssen die Aetherhüllen zusammengepresst werden, wobei die gegenseitige Abstossungskraft der Aethertheilchen einen Widerstand leistet.

Will man einen Körper zerreissen, so hat man die Anziehungskraft der Atome zu überwinden.

Eine Vorstellung von der Kleinheit der Atome oder Moleküle und Atomzwischenräume, oder vielmehr einen Beweis, dass eine solche Vorstellung nicht wohl möglich ist, geben folgende Zahlen:

Die Anzahl der Moleküle in einem Wassertropfen beläuft sich auf ungefähr

$$10^{26} = 100000000000000000000000000$$

oder hundert Quadrillionen; und der Abstand zweier Wassermoleküle ist kleiner als der hundert-tausend-billionste Theil eines Millimeters.

Die verschiedenen Aggregatzustände der Körper unterscheiden sich nach Clausius durch die Art und Heftigkeit der Bewegungen, welche im Systeme der Atome und Massentheilchen stattfinden. Alle Massentheilchen sind nämlich, so lange sie Wärme enthalten, was noch bei den niedrigsten vorkommenden und künstlich erzeugbaren Temperaturen der Fall ist, fortwährend in Bewegung.

In den festen Körpern bewegen sich die Massentheilchen in geradlinigen Schwingungen um gewisse Gleichgewichtslagen, wobei auch drehende Schwingungen um den Schwerpunkt und Bewegungen der Atome eines jeden Moleküls auftreten.

Im tropfbar flüssigen Zustande haben die Massentheilchen keine bestimmte Gleichgewichtslage mehr; es findet eine schwingende, wälzende und fortschreitende Bewegung statt, aber die Bewegung ist

nicht so heftig, dass die gegenseitige Molekularanziehung überwunden wird, und die Massentheilchen sich ganz von einander trennen; diese erhalten sich auch ohne äusseren Druck innerhalb eines gewissen Volumens.

Im gasförmigen Zustande befinden sich die Massentheilchen ganz ausserhalb der Sphären ihrer gegenseitigen Anziehung; sie bewegen sich nach den gewöhnlichen Gesetzen geradlinig fort.

Diese Aufstellungen mögen auf den ersten Blick zu willkürlich scheinen; allein sie haben Berechtigung in bedeutendem Grade. Auf Grundlage derselben hat man, namentlich in der Anwendung auf die mechanische Wärmetheorie, eine Reihe von Resultaten erhalten, welche nicht nur die exacte Wissenschaft befriedigen, sondern auch mit der Erfahrung gut übereinstimmen.

Clausius hat auch die Beziehungen ermittelt, welche zwischen der Grösse und Anzahl der Moleküle und ihrer Geschwindigkeit stattfinden. Er findet die Geschwindigkeit, mit welcher sich die Moleküle bewegen, für

Luft	485	Meter
Sauerstoff	461	„
Stickstoff.	492	„
Wasserstoff	1844	„

in der Secunde bei Null Grad.

Dieses ist aber nicht in der Weise aufzufassen, als ob die Gastheilchen, welche sich jetzt in unserer Umgebung befinden, in der nächsten Secunde Hunderte von Metern von uns entfernt wären. Selbst im Freien findet ein solches Fortfliegen der Gasmoleküle nicht statt. Bei ihrer geradlinigen Fortbewegung stossen sie sehr bald auf andere Gasmoleküle oder auf feste Körperflächen; von einem solchen Zusammenstoss kehren sie nach Art vollkommen elastischer Kugeln ohne Verlust an Geschwindigkeit zurück, und die Summe der geradlinig in verschiedenen Richtungen gemachten Wege eines Moleküls oder Atoms ist durch Zahlen wie die obigen dargestellt.

Das Hinundherfliegen der Gasmoleküle wird man sich nach diesem als ein ausserordentlich rasches Oscilliren in sehr geringen Distanzen zu denken haben.

§. 4.

Chemische Verbindungen. Allotropische Zustände. Affinität. Mischungsgewichte, Atomgewichte. Stöchiometrie. Chemische Formeln.

Chemische Verbindungen sind Gruppirungen von Atomen der die Verbindung bildenden Grundstoffe in bestimmten gesetzmässigen Verhältnissen.

Eine solche Gruppirung oder chemische Mischung ist stets so innig, dass die Eigenschaften der einzelnen Bestandtheile nicht mehr vorhanden sind, wie bei einem mechanischen Gemenge, sondern ein ganz neuer Körper mit anderen Eigenschaften entsteht.

Schon bei den Grundstoffen hängen die äusseren Eigenschaften, wie Gestalt, Dichtigkeit, Härte, Farbe, nicht allein von den eigenthümlichen Eigenschaften der Atome ab, sondern zugleich auch von der gegenseitigen Lage der Atome und von der Grösse der sie trennenden Aetherhüllen und Zwischenräume; die Atome liegen nicht unregelmässig durcheinander, sondern sind in regelmässigster Ordnung gruppirt, und je nachdem diese Gruppirung eine verschiedene ist, erscheint uns auch der Körper mit verschiedenen äusseren Eigenschaften. Da bei dem Zustandekommen der chemischen Verbindung die Gruppirung der Atome eine andere wird, so müssen andere Eigenschaften auftreten.

So erklären sich auch die verschiedenen Eigenschaften, die allotropischen Zustände einiger Grundstoffe bei verschiedener Entstehungs- oder Darstellungsart, sowie chemischer Verbindungen von gleichen Mischungsverhältnissen. Die gemachte Annahme, dass trotz der auftretenden neuen Eigenschaften die chemische Vereinigung doch nur in einer gegenseitigen Aneinanderlagerung einer bestimmten Zahl von Atomen der sich verbindenden Stoffe besteht, wird ferner durch den Umstand befestigt, dass sich jede chemische Verbindung wieder in die sie zusammensetzenden Grundstoffe zerlegen lässt, und dass auch die allotropischen Zustände unter gewissen Verhältnissen wechseln.

Die chemischen Verbindungen sind Wirkungen innerer Kräfte, Folgen einer gegenseitigen Anziehung der Atome, und die Kraft, welche eine solche Anziehung bewirkt, wird als Affinität oder chemische Verwandtschaft bezeichnet. Diese chemische Anziehung ist mit der allgemeinen Anziehung nicht identisch.

Chemische Verbindungen erfolgen immer nach bestimmten Gewichtsverhältnissen der Bestandtheile. Die Zahlen, welche diese constanten

Mischungsverhältnisse für die einzelnen Grundstoffe und Verbindungen angeben, nennt man Mischungsgewichte, auch Atomgewichte oder chemische Aequivalente, die Lehre ihrer Auffindung und Benutzung die chemische Proportionslehre oder Stöchiometrie.

Da die Atome eines und desselben Grundstoffs gleich schwer sind, das Gewicht der Atome anderer Grundstoffe aber ein anderes ist, und die chemische Verbindung nur in einer regelmässigen Aneinanderlagerung einer bestimmten, gleichen oder ungleichen Anzahl von Atomen oder Atomgruppen besteht, so müssen die Gewichtsverhältnisse in den chemischen Verbindungen den einfachen oder mehrfachen Gewichten der Atome der sich verbindenden Grundstoffe entsprechen.

Die absoluten Gewichte der Atome sind zwar unbekannt, aber ihr relatives Gewicht ergiebt sich aus den Gewichtsverhältnissen, in welchen sie sich mit anderen vereinigen lassen.

Um einfache Zahlenwerthe zu erhalten, ist man ziemlich allgemein übereingekommen, das Gewicht von einem Wasserstoffatom als Gewichtseinheit, als Einheit der Atomgewichte anzunehmen.

Nachdem durch Versuche ermittelt ist, in welchen Gewichtsverhältnissen mit einem Gewichtstheil Wasserstoff sich die übrigen Grundstoffe oder diese mit einem andern Grundstoff, der mit einem Gewichtstheil Wasserstoff verbindbar ist, vereinigen, sind auch die sogenannten Atomgewichte festgestellt.

Weiss man beispielsweise, dass 1 Kilogramm Wasserstoff und 8 Kilogramm Sauerstoff 9 Kilogramm Wasser bilden, und setzt man voraus, dass 1 Atom Wasserstoff und 1 Atom Sauerstoff sich zu einem Wassermolekül vereinigen, so ist für die Einheit Wasserstoff das Atomgewicht des Sauerstoffs 8 und des Wassers 9.

Da es nun nach Obigem nicht consequent scheinen könnte, die Zahl 9 als Atomgewicht des Wassers zu bezeichnen, weil die Verbindung der beiden Atome nicht mehr als Wasseratom, sondern als Wassermolekül zu betrachten ist, so mag man sich überhaupt besser der Bezeichnung Mischungsgewichte oder chemische Aequivalente anstatt Atomgewichte bedienen. Indessen kann man Atomgewicht bei Molekülen auch als Gewicht der vereinigten Atome auffassen, dann ist die Benennung Atomgewichte gerechtfertigt, und sie ist um so mehr gerechtfertigt in so weit, als jene Zahlen nicht nur die Gewichtsverhältnisse bezeichnen, in welchen die Grundstoffe mit einander verbindbar sind, sondern auch angeben, um

wie viele Gewichtseinheiten die Atome der verschiedenen Grundstoffe schwerer sind als die Wasserstoffatome, welche man als die leichtesten als Einheit gewählt hat.

Für die in diesem Buche zu behandelnden Gegenstände sind besonders folgende Grundstoffe und deren Mischungsgewichte von Bedeutung:

Deutsche Namen.	Lateinische Namen.	Zeichen.	Mischungsgewicht.
Wasserstoff	Hydrogenium	H	1
Sauerstoff	Oxygenium	O	8
Kohlenstoff	Carbonicum	C	6
Stickstoff	Nitrogenium	N	14

Die Einfachheit obiger Zahlenwerthe könnte zu der Hypothese führen, dass die Atome der verschiedenen Stoffe gleiches Gewieht hätten, und diese Werthe die Anzahl der sich verbindenden Atome bezeichnen. Allein nicht alle Mischungsgewichtszahlen sind so runde Werthe und auch die obigen sind vermuthlich nicht mathematisch genau. Ueberdies sind mancherlei andere Gründe gegen die Aufstellung einer solchen Hypothese vorhanden, wenn gleichwohl auch die dargestellte atomistische Auffassung sich nicht beweisen lässt, sondern nur eine Hypothese mit einem hohen Grade von Wahrscheinlichkeit ist.

Das Mischungsgewicht einer chemischen Verbindung ist gleich der Summe der Mischungsgewichte der Bestandtheile, wie bereits als Beispiel für Wasser angegeben ist.

Vereinigen sich mit einem Atom eines Grundstoffes mehrere Atome eines andern, oder vereinigen sich überhaupt mehrere Atome gegenseitig zu einem Molekül, so deutet man dieses durch beigesetzte Zahlen an.

Die Mischungsgewichte des Sauerstoffs werden auch durch eben so viele über das Zeichen des anderen Grundstoffs gesetzte Punkte angedeutet.

So besteht Kohlensäure aus 1 Mischungsgewicht Kohlenstoff und 2 Mischungsgewichten Sauerstoff, wird also bezeichnet CO^2 oder CO_2 oder $\ddot{C}$.

Einige chemische oder stöchiometrische Formeln häufig vorkommender Verbindungen sind im Folgenden zusammengestellt.

Name der chemischen Verbindung.	Stöchiometrische Formel.
Wasser	HO
Kohlenoxyd	CO
Kohlensäure	CO_2
Leichtes Kohlenwasserstoffgas (Sumpfgas)	C_2H_4
Schweres Kohlenwasserstoffgas (Oel bildendes Gas)	C_4H_4
Ammoniak	H_3N

Man findet auch die Bezeichnungen

CH_2 statt C_2H_4 und

CH statt C_4H_4.

Gleichgültig sind diese Bezeichnungen zwar nicht in Rücksicht auf die allotropischen Zustände, wohl aber für die beabsichtigten Rechnungen, und in dieser Beziehung mögen sie als zulässig betrachtet werden.

Bei Vergleichung mit anderen Werken ist ferner zu beachten, dass von manchen Schriftstellern das Mischungsgewicht für Wasserstoff zwar ebenfalls als 1 angesetzt, aber dieses als Doppelatomgewicht oder Molekulargewicht für 2 Wasserstoffatome angenommen wird, wonach sich für die entsprechenden 2 Sauerstoffatome die Zahl $2 \times 8 = 16$ ergiebt, also das Mischungsgewicht des Sauerstoffs $= 16$ gesetzt wird.

Die chemische Formel für Wasser ist dann H_2O; aus demselben Grunde wird dann die Formel für leichtes Kohlenwasserstoffgas C_2H_8 beziehungsweise CH_4 u. s. w.

Die Zahlenwerthe, worauf es in den Rechnungen ankommt, bleiben dabei ungeändert; denn wenn z. B. in 18 Kilogramm Wasser 16 Kilogramm Sauerstoff und 2 Kilogramm Wasserstoff enthalten sind, so sind auch in 9 Kilogramm Wasser 8 Kilogramm Sauerstoff und 1 Kilogramm Wasserstoff enthalten.

§. 5.

Gleichgewicht und Mass der Kräfte. Verschiedene Wirkungsweise mechanischer Kräfte. Reibung. Reibungscoëfficienten.

Zwei oder mehrere an einem Körper wirkende Kräfte sind gegenseitig im Gleichgewicht, wenn sich ihre Wirkungen in Bezug auf die Bewegung des angegriffenen Körpers gegenseitig aufheben.

In welcher Weise und Richtung eine mechanische Kraft an einem

Körper wirken mag, so kann sie doch im Gleichgewicht gedacht werden mit einer zweiten Kraft, welche an einem Seile angreift, das andererseits mit dem Körper verknüpft ist, und nach Umständen unmittelbar vertical herabhängt oder zuerst über eine Rolle gelegt ist. Die vertical wirkende Kraft kann man sich aber durch ein Gewicht veranschaulichen. In gleicher Weise kann man sich die erstere Kraft auch ersetzt denken. Man kann also die mechanischen Kräfte überhaupt durch Gewichte messen und, um ein Mass der Kräfte zu haben, zur Einheit der Kraft die Kraftgrösse annehmen, welche dem verticalen Zug oder Druck von 1 Kilogramm gleich ist.

Die Wirkungsweise der Kräfte betrachtend kann man zwei wesentlich verschiedene Arten von Kräften unterscheiden, nämlich bewegende Kräfte und Widerstände. Letztere sind nicht im Stande, Bewegung zu veranlassen, wohl aber, vorhandene Bewegung zu ändern und das Zustandekommen der Bewegung bei vorhandenen bewegenden Kräften zu verhindern. Bei den Widerstandskräften ist namentlich die Reibung von Wichtigkeit. Sie ist als eine Kraft anzusehen, welche immer in einer der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Richtung wirkt.

Dieses Bewegungshinderniss tritt überall auf, wo ein Körper, die Oberfläche eines andern berührend, sich an demselben hinbewegt. Es greifen die Erhöhungen des einen Körpers in die Vertiefungen des andern ein, wodurch der bewegte Körper eine Hemmung erleidet.

Solche Erhöhungen und Vertiefungen sind auch bei Körperoberflächen vorhanden, welche ganz glatt zu sein scheinen.

Man darf den Reibungswiderstand nicht verwechseln mit der Adhäsion, der Molekularanziehung bei getrennten, aber einander sehr nahe gebrachten Körperflächen, vermöge welcher die Körper um so fester an einander haften, je glätter die Oberflächen sind.

Die Reibung der Ruhe, d. h. der Widerstand, welcher zu überwinden ist, wenn der Körper aus dem Zustande der Ruhe in den Zustand der Bewegung versetzt werden soll, ist aus nahe liegenden Ursachen grösser als die Reibung der Bewegung; letztere ist auch als unabhängig von der Geschwindigkeit des bewegten Körpers angenommen, was vielleicht nicht ganz richtig ist, weil bei schnellerer Bewegung die Unebenheiten leichter überwunden, übersprungen werden.

Bei festen Körpern ist die Reibung proportional dem Normaldruck der sich reibenden Körper, aber unabhängig von der Grösse der Berührungsflächen.

Je grösser nämlich bei einem bestimmten Normaldruck die Reibungsfläche ist, desto grösser ist zwar unter sonst gleichen Umständen die Anzahl der sich reibenden Theilchen, desto kleiner aber der Druck auf ein jedes dieser Theilchen.

Ferner ist die Reibung abhängig von der Beschaffenheit der Oberflächen, wodurch die Verschiedenheit der durch Versuche gefundenen Reibungscoëfficienten sich erklärt. Bei einem Normaldruck von N Kilogramm und dem Reibungscoëfficienten K ist der Ausdruck der Reibungsgrösse R

$$R = KN \text{ Kilogramm.}$$

Die Reibung tropfbar flüssiger und luftförmiger Körper muss von anderen Gesichtspunkten aus betrachtet werden, was später an geeigneter Stelle geschehen wird.

Für die Berechnung der Leistungen von Ventilationsmaschinen ist auch die Reibung starrer Körper von Wichtigkeit.

Einige Coëfficienten der gleitenden Reibung während der Bewegung sind in folgender Zusammenstellung enthalten:

Bezeichnung der sich reibenden Körper.	Trocken.	Mit Wasser benetzt.	Mit Oel oder Fett geschmiert.
Holz auf Holz im Mittel	0,36	0,25	0,07 bis 0,12
Metall auf Metall . . .	0,18	0,31	0,07 „ 0,13
Holz auf Metall	0,42	0,24	0,06 „ 0,14

Die Zunahme des Widerstandes bei den mit Wasser benetzten Metallflächen wird aus der bedeutenden Adhäsion des Wassers an den beiden Metallflächen zu erklären sein.

Für Zapfen von Schmiedeeisen oder Gusseisen auf Lagern von Gusseisen oder Bronze bei gewöhnlicher, nur von Zeit zu Zeit wiederholter Schmierung ist der Reibungscoëfficient 0,07 bis 0,08 und bei fortwährend erneuerter Schmierung 0,054.

§. 6.

Definition, Mass und Ausdruck der Masse. Gravitationsgesetz. Bewegungsgrösse.

Man spricht von Luftmassen wie von Luftmengen, und es mag damit oft nach Belieben die Vorstellung eines Luftquantums nach Gewicht oder Volumen, beispielsweise von 100 Cubikmeter verknüpft werden, ohne dass hierdurch im Allgemeinen eine Unklarheit herbeigeführt wird.

Auch bezüglich der Substanz und Qualität eines Körpers bedient man sich im gewöhnlichen Leben des Wortes Masse, man spricht von guter und schlechter, harter und weicher, leichter und schwerer Masse, und fragt nach den Bestandtheilen einer gewissen Masse.

Die wissenschaftliche Bedeutung des Wortes Masse ist eine andere, und Klarheit hierüber ist wegen der häufigen Anwendung bei mathematischen Untersuchungen mechanischer Vorgänge nothwendig.

Die Masse eines Körpers definirt man als die Menge der Materie desselben, oder als die Menge des Schweren oder Gewichtigen, oder die Menge des Trägen.

Es handelt sich dabei immer um die Quantität der in einem Körper enthaltenen wägbaren Materie ohne Rücksicht auf die sonstige Beschaffenheit des Körpers.

Da je gleiche Quantitäten der wägbaren Materie, je gleich grosse Massen, von der Erde gleich stark angezogen werden, so müssen an demselben Orte die Gewichte verschiedener Körper den Massen proportional sein.

Haben zwei Körper gleiche Gewichte, so enthalten sie auch gleiche Massen, und ein zehnmal so schwerer Körper hat auch zehnmal so viel Masse. Trotzdem darf man Gewicht und Masse nicht verwechseln. Die Masse eines Körpers bleibt an allen Orten die gleiche, das Gewicht aber ist veränderlich nach dem Orte, an welchem der Körper sich befindet; denn nach dem von Newton entdeckten Gravitationsgesetz wächst die Körperanziehung im directen Verhältniss der Massen und nimmt ab im Verhältniss der zweiten Potenzen der Entfernungen.

Da beispielsweise die Masse der Sonne 355000 mal so gross ist als die der Erde, ihr Halbmesser aber 112 mal so gross als der der Erde, und die in Rechnung zu bringenden Entfernungen für die Mittelpunkte der Körper gelten, so würde eine bestimmte Masse an der Oberfläche der Sonne

$\frac{355\,000}{112 \,.\, 112}$ mal oder ungefähr 28 mal so stark angezogen werden,

28 mal so viel Gewicht haben, als an der Oberfläche der Erde, und auch hier sind die Gewichte gleicher Massen nach der Oertlichkeit nachweisbar verschieden, allerdings so wenig, dass wir diese Verschiedenheit nicht weiter berücksichtigen.

Die Verhältnisse sind bei den Gewichten dieselben wie bei den Fallbeschleunigungen. In Paragraph 2 ist bereits erwähnt, dass die Beschleunigung des freien Falls an der Erde nach den Breitegraden verschieden ist.

An der Sonne würde auch die Fallbeschleunigung 28 mal so gross sein als an der Erde, nämlich genau in dem Verhältniss, wie das Gewicht einer und derselben Masse grösser.

Bei constanter Fallbeschleunigung, also an einem bestimmten Orte, ist das Gewicht proportional der Masse; aber für gleiche Gewichte an verschiedenen Orten stehen die Massen im umgekehrten Verhältniss der Fallbeschleunigungen.

Um einen allgemeinen Ausdruck für die Masse zu haben, wählt man zur Masseneinheit diejenige Masse, welche von der Krafteinheit die Einheit der Beschleunigung erhält, und kann also die Masse M eines Körpers, dessen Gewicht P Kilogramm ist, durch den Quotienten $\frac{P}{g}$ ausdrücken.

Es ist demnach der allgemeine Ausdruck der Masse

$$M = \frac{P}{g}$$

oder bestimmter

$$M = \frac{P}{9{,}81}$$

Obwohl also die Gewichte an demselben Orte den Massen proportional sind, so ist doch im Allgemeinen die Masse unabhängig vom Gewichte, welches z. B. für eine bestimmte Masse an der Oberfläche der Erde $= P$ Kilogramm und an der Oberfläche der Sonne $= 28\ P$ Kilogramm wäre. An der Sonne wäre für dieselbe Masse

$$M = \frac{28\ P}{28\ g}$$

das ist wieder

$$M = \frac{P}{g} = \frac{P}{9{,}81}.$$

Früher hat man als Mass der Beschleunigung den Fallraum der ersten Secunde angenommen und mit g bezeichnet.

In manchen Schriften bedeutet deshalb g nicht 9,81, sondern $\frac{9{,}81}{2}$, so dass für die Bezeichnung der Zahl 9,81 gesetzt werden muss $2\ g$. Dann ist auch der Ausdruck der Masse $M = \frac{P}{2\ g}$, was wieder zu dem Werthe $M = \frac{P}{9{,}81}$ führt. Von einigen Schriftstellern wird aber aus anderen Gründen unter M der Quotient $\frac{P}{2\ .\ 9{,}81}$ verstanden, was bei Vergleichung von Formeln und Berechnungen berücksichtigt werden möge.

Das Product aus Masse und Geschwindigkeit, nämlich

$$M \,.\, C \text{ oder } \frac{P}{g} \,.\, C$$

wird zuweilen als **Bewegungsgrösse** der Masse bezeichnet. Diese Bewegungsgrösse darf nicht verwechselt werden mit der lebendigen Kraft der Masse, oder mit mechanischer Arbeit wovon §§. 8 und 9 handeln.

§. 7.

Verschiedenheit der Beschleunigungsgrösse nach dem Verhältniss von Kraft und Masse.

Dass im leeren Raum oder bei verschwindend kleinem Luftwiderstand alle Körper unter demselben Breitengrade der Erde gleich schnell fallen, ist bereits erwähnt.

Man könnte es aber sonderbar finden, dass beispielsweise ein kleines Bleikügelchen von 1 Gramm Gewicht ebenso schnell fallen soll, wie eine grosse Bleikugel von 1 Kilogramm Gewicht, während doch in der grösseren Kugel die tausendfache Erdanziehung der kleineren zur Wirkung gelangen muss.

Allein die hier wirksame tausendfache Kraft hat auch die tausendfache Masse zu bewegen.

Ist für die kleine Kugel die Beschleunigung

$$g = \frac{P}{M},$$

so ist sie für die grosse

$$g = \frac{1000\ P}{1000\ M} = \frac{P}{M};$$

es ist also die Beschleunigung und folglich auch die Fallgeschwindigkeit für beide Kugeln gleich.

Diese Gleichheit geht auch aus folgender einfachen Betrachtung hervor:

Die einzelnen Massentheilchen eines Körpers werden mit gleicher Kraft von der Erde angezogen und bewegen sich gleichzeitig gleich schnell abwärts; es ist dabei offenbar gleichgültig, ob die einzelnen Massentheilchen getrennt neben einander liegend oder zu einem starren Körper verbunden sich fortbewegen, gleichgültig also auch, ob der fallende Körper gross oder klein ist.

Die Gesetze des freien Falls bilden nur eine specielle Folge der allgemeinen Beziehungen zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung.

Die Beschleunigung einer bewegten Masse durch eine Kraft ist der beschleunigenden Kraft direct und der beschleunigten Masse umgekehrt proportional.

Für irgend eine Beschleunigung g_1, welche von der Kraft K ausgeht und auf die Masse M wirkt, ist

$$g_1 = \frac{K}{M}.$$

Ist K, welches in Kilogramm ausgedrückt wird, zugleich das ganze Gewicht P der Masse M, so ist

$$K = P = Mg,$$

$$g_1 = \frac{Mg}{M} = g = 9{,}81 \text{ Meter},$$

nämlich die Acceleration oder die Geschwindigkeit am Ende der ersten Secunde beim freien Fall.

Ist aber die zu bewegende Masse grösser als diejenige, deren Gewicht als bewegende Kraft auftritt, oder allgemeiner, ist das Gewicht der zu bewegenden Masse grösser als die bewegende Kraft, so muss die Beschleunigung geringer sein als 9,81 Meter; es kann immerhin beschleunigte Bewegung erfolgen.

Fig. 1.

An einer über eine Rolle gelegten Schnur hängen die Gewichte 8 und 2 Kilogramm. (Fig. 1.)

Die Widerstände der Reibung und Seilsteifheit mögen unberücksichtigt bleiben. Dann ist die beschleunigende Kraft K der Ueberdruck $8 - 2 = 6$ Kilogramm, die zu bewegende Masse M aber diejenige, deren Gewicht $8 + 2 = 10$ Kilogramm ist. Es ist also

$$K = 6,$$

$$M = \frac{P}{g} = \frac{10}{g},$$

$$g_1 = \frac{K}{M} = \frac{6}{\frac{10}{g}} = 0{,}6\,g = 0{,}6 \,.\, 9{,}81,$$

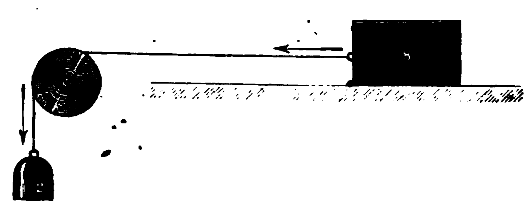
$$g_1 = 5{,}886 \text{ Meter}.$$

Mit einer Geschwindigkeit, welche dieser Beschleunigung entspricht, bewegen sich also beide Körper gleichzeitig, der von grösserer Masse abwärts, der von kleinerer Masse aufwärts.

Es liege ferner (Fig. 2) ein Körper von 8 Kilogramm Gewicht auf einer ebenen horizontalen Fläche, die so glatt sein soll, dass der Reibungswiderstand als Null betrachtet werden kann; ein mit dem

Körper verknüpftes Seil gehe über eine Rolle, an welcher die Reibung und Seilsteifheit unberücksichtigt bleiben, und am anderen Ende des Seiles hänge ein Gewicht von 2 Kilogramm.

Fig. 2.



Die beiden Körper kommen zugleich in Bewegung, und da kein Widerstand angenommen wird, ist der Ueberdruck oder die beschleunigende Kraft einfach

$$K = 2 \text{ Kilogramm},$$

die beschleunigte Masse aber

$$M = \frac{P}{g} = \frac{8+2}{g} = \frac{10}{g};$$

also die Beschleunigung

$$g_1 = \frac{K}{M} = \frac{2}{\frac{10}{g}} = 0{,}2 \,.\, g = 0{,}2 \,.\, 9{,}81,$$

$$g_1 = 1{,}962 \text{ Meter}.$$

Mit einer dieser Beschleunigung entsprechenden Geschwindigkeit sinkt der Körper vom Gewichte 2 Kilogramm, während mit derselben Geschwindigkeit der Körper vom Gewicht 8 Kilogramm auf der glatten Ebene fortgleitet.

Allgemein gilt die Gleichung:

$$g_1 = \frac{K}{M} = \frac{K}{\frac{P}{g}} = \frac{K}{P} \times g$$

das heisst:

$$\text{Beschleunigung } g_1 = \frac{\text{Ueberdruck}}{\text{Gewicht der beschleunigten Masse}} \times 9{,}81 \text{ Meter}.$$

Berücksichtigt man im vorliegenden Falle die Reibung zwischen dem gleitenden Körper und seiner Unterlage als Widerstandskraft und nimmt den Reibungscoëfficienten als 0,5 an, was bei etwas rauhen Flächen der Fall sein kann, so hätte der Reibungswiderstand, als das Product aus dem Normaldruck 8 Kilogramm und dem Reibungscoëfficienten 0,5, die Grösse

$$8 \,.\, 0{,}5 = 4 \text{ Kilogramm},$$

und es wäre die resultirende Kraft oder der Ueberdruck

$$K = 2 - 4 = -2 \text{ Kilogramm}.$$

Formell würde hier also auch die Beschleunigung negativ, was aber nach dem Sinne der Aufgabe keine Bewegung in umgekehrter Richtung, sondern die Unmöglichkeit der Bewegung überhaupt anzeigt, weil die grössere Kraft ein Widerstand ist, welcher sich jeder Bewegung entgegensetzt, nicht aber selbst eine Bewegung hervorbringen kann.

Es könnte hier also überhaupt die Bewegung nicht beginnen, oder eine durch einen stärkeren Anstoss veranlasste Bewegung nicht fortdauern; folglich ist auch keine Geschwindigkeit und keine Beschleunigung der Geschwindigkeit zu suchen.

Wären aber die Flächen so glatt, dass der Reibungswiderstand der Bewegung den Coëfficienten 0,1 hätte, so wäre

$$K = 2 - 0{,}1 \,.\, 8 = 2 - 0{,}8 = 1{,}2 \text{ Kilogramm,}$$

und die beschleunigte Masse wie oben

$$M = 2 + 8 = 10;$$

also

$$g_1 = \frac{1{,}2}{10} \times 9{,}81 = 0{,}12 \times 9{,}81,$$

$$g_1 = 1{,}177 \text{ Meter.}$$

Dieser Beschleunigung würde die Geschwindigkeit entsprechen, mit welcher sich beide Körper gleichzeitig immer rascher fortbewegen, sobald die grössere Reibung der Ruhe durch einen entsprechenden Anstoss überwunden wäre.

§. 8.

Mechanische Arbeit. Effect. Pferdekraft. Manneskraft.

Ein Gewicht, welches auf eine hinreichend feste und unverrückbare Unterlage drückt, also ruhig liegen bleibt, ist ein Beispiel vorhandener Kraft, die keine Bewegung hervorbringt, keine Arbeit leistet.

Wenn aber eine Kraft einen Widerstand auf eine bestimmte Wegstrecke hin überwindet, eine Masse bewegt, verrichtet sie eine mechanische Arbeit. Diese *mechanische Arbeit*, *Leistung* oder *Wirkungsgrösse* einer Kraft ist bei einem *vertical* gehobenen oder sinkenden, niederfallenden Körper *gleich dem Producte aus dessen Gewicht und dem von ihm zurückgelegten Weg*.

Ist die Bewegungsrichtung keine verticale, so kann man die mechanische Arbeit der gegebenen Kraft doch mit derjenigen Arbeit vergleichen, welche nöthig ist, um ein bestimmtes Gewicht auf eine gewisse Höhe zu heben.

Die **Masseinheit** für die mechanische Arbeit ist diejenige Arbeit, welche nöthig ist, um **1 Kilogramm Gewicht 1 Meter hoch zu heben** und diese Masseinheit heisst Kilogramm- Meter oder **Meter-Kilogramm.**

Wird ein Gewicht P Kilogramm auf die Höhe h Meter gehoben, oder fällt es um die Höhe h Meter, so ist die mechanische Arbeit oder Wirkungsgrösse W

$$W = P \, . \, h \text{ Meter-Kilogramm.}$$

Wo es sich nur überhaupt um die geleistete oder zu leistende Arbeit oder Wirkung einer Kraft handelt, ist es gleichgültig, in welcher Zeit die Wirkung hervorgebracht und in welcher Weise der Weg für die verticale Distanz h zurückgelegt wird, und ob es mit gleichförmiger, beschleunigter oder verzögerter Geschwindigkeit geschieht.

Bei Maschinen jedoch, wo im Beharrungszustande der Druck der bewegenden Kraft constant und dem Widerstande gleich ist, also eine gleichförmige Bewegung stattfindet, und die mechanische Arbeit in jeder Zeiteinheit die gleiche ist, ebenso bei dauernder Benutzung von Menschen- und Thierkräften, pflegt man die **Wirkungsgrösse** für die Zeiteinheit, für **eine Secunde** anzugeben, sie durch das Wort **Effect** zu bezeichnen und **Secunden-Meter-Kilogramm** zu nennen.

Es ist also, wenn das Gewicht P Kilogramm in einer Secunde auf die Höhe h Meter gehoben wird, der Effect E

$$E = P \, . \, h \text{ Secunden-Meter-Kilogramm.}$$

Um hohe Effecte nicht in zu grossen Zahlen ausdrücken zu müssen, hat man eine **grössere Masseinheit** für die secundliche mechanische Arbeit eingeführt und hierfür die Leistung eines starken Pferdes, die bei 8 Stunden täglicher Arbeitszeit und gleichmässiger Anstrengung 75 Meter-Kilogramm in der Secunde beträgt, festgesetzt. Diese grössere Effectseinheit nennt man Pferdekraft, auch Pferdestärke oder Pferdeleistung.

Eine Pferdekraft ist also im Maschinenwesen **75 Secunden-Meter-Kilogramm**, oder diejenige mechanische Arbeit, welche aufzuwenden ist, um in einer Secunde ein Gewicht von 75 Kilogramm 1 Meter hoch oder auch 25 Kilogramm 3 Meter hoch u. s. w. zu heben.

Allgemein ist der Effect E_1 in Pferdekräften ausgedrückt mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen

$$E_1 = \frac{E}{75} = \frac{Ph}{75} \text{ Pferdekräfte.}$$

Die Arbeitsleistung, welche ein Mann von mittlerer Stärke ohne Nachtheil für seine Gesundheit bei gewöhnlicher Arbeitszeit entwickeln kann, ist zu 6 bis 7 Meter-Kilogramm in der Secunde anzunehmen. Es ist also bei Annahme des kleineren Werthes 6 der Effect E_2 in Manneskräften allgemein dargestellt durch die Gleichung:

$$E_2 = \frac{E}{6} = \frac{Ph}{6} \text{ Manneskräfte.}$$

§. 9.

Lebendige Kraft. Princip der lebendigen Kräfte.

Es ist bereits erwähnt, dass eine Kraft, welche ein Gewicht P auf die Höhe h hebt, die mechanische Arbeit verrichtet oder die Wirkungsgrösse hat:

$$W = P \,.\, h \text{ Kilogramm-Meter.}$$

Der auf die Höhe h gehobene Körper kann in dieser Höhe hängend oder liegend in Ruhe bleiben oder wieder herabfallen. So lange er auf der Höhe in Ruhe bleibt, hat er immerhin eine der für das Emporheben aufgewandten mechanischen Arbeit gleiche Arbeits- oder Wirkungsfähigkeit, stellt aber keine lebendige Kraft vor, da eine solche ohne Bewegungszustände nicht zu denken ist, sondern besteht im Gegensatze zu den lebendigen Kräften als eine, wenn auch nicht todte und folglich wirkungsunfähige, so doch als eine unthätige, gewissermassen schlummernde Kraft. Fällt aber der Körper durch die Höhe h herab, so vermag er dabei eine gleiche Masse wieder auf die Höhe h zu heben, äussert eine lebendige Kraft.

Anstatt der Fallhöhe h kann man mit Einführung der Geschwindigkeit v, welche der Körper bei dem freien Fall durch die Höhe h annimmt, setzen

$$h = \frac{v^2}{2\,g}$$

und anstatt des Gewichtes P die Masse einführen, also setzen

$$P = Mg$$

dann wird

$$P \,.\, h = Mg \cdot \frac{v^2}{2\,g} = \frac{Mv^2}{2}$$

Der letzte Ausdruck ist die übliche Bezeichnung der lebendigen Kraft. Die lebendige Kraft und die durch sie zu leistende Arbeit haben also denselben Zahlenwerth, und man kann sagen:

Die lebendige Kraft eines bewegten Körpers von der Masse M ist

$$\frac{Mv^2}{2},$$

also das halbe Product aus seiner Masse und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit, oder auch:

Die lebendige Kraft eines bewegten Körpers vom Gewichte P ist

$$P\frac{v^2}{2g},$$

nämlich das Product aus dem Gewichte des Körpers und der Höhe, bis zu welcher er vermöge seiner Geschwindigkeit vertical aufsteigen könnte.

Die lebendige Kraft giebt auch die Arbeitsgrösse an, welche nothwendig ist, um einem Körper vom Gewicht P die Geschwindigkeit v zu ertheilen, indem

$$P\frac{v^2}{2g} = Ph \text{ Meter-Kilogramm ist.}$$

Soll aber ein Körper von der Masse M, welcher bereits die Geschwindigkeit v_1 besitzt, in eine andere Geschwindigkeit v_2 gelangen, so muss eine Arbeit geleistet werden, welche bestimmt wird durch:

$$\frac{Mv_2^{\,2}}{2} - \frac{Mv_1^{\,2}}{2} = \frac{M(v_2^{\,2} - v_1^{\,2})}{2}$$

Derselbe Ausdruck stellt auch die Arbeit vor, welche der Körper leistet, wenn sich seine Geschwindigkeit von v_2 auf v_1 verringert. Man nennt dieses das Princip der lebendigen Kräfte.

§. 10.

Energie. Princip von der Erhaltung der Energie. Potentielle und kinetische Energie.

Die lebendige Kraft, sowie jede Arbeitsfähigkeit irgend welcher Art, bei den äusseren wahrnehmbaren Bewegungen der Körper und bei den kleinsten, selbst nicht als Bewegung wahrnehmbaren inneren Bewegungen der Atome, so bei den Erscheinungen von Wärme, Licht und Elektricität, nennt man auch Energie.

Man hat genügende Gründe für die Annahme, dass die Energie des Weltalls stets von gleicher Grösse ist.

Kraft und Arbeit gehen niemals verloren; das scheinbare Verschwinden ist nur eine Umwandlung der Bewegungsform. Dieses ist das Princip von der Erhaltung der Energie.

Ist ein Körper von 10 Kilogramm Gewicht 20 Meter über den Erdboden gehoben, wobei die Arbeit 200 Meter-Kilogramm aufzuwenden war, so besitzt er auch die lebendige Kraft oder Energie = 200 Meter-Kilogramm. Fällt der Körper herab, so verliert er diese Energie in mancherlei Weise: er giebt Energie an die Lufttheilchen ab, welche ihm im Wege stehen, theils indem er sie nach den Seiten bewegt, theils indem er die Luft vor sich verdichtet und erwärmt. Am Boden angelangt, hat der Körper seine Energie gänzlich verloren, aber verschwunden ist sie nicht. Die am Boden getroffenen Massen wurden erschüttert, erwärmt, zum Theil zertrümmert, in neue Gleichgewichtslagen gebracht; unter Umständen kann dabei auch Licht und Elektricität entstehen. Könnte man diese Wirkungen genau messen, so würde man finden, dass ihre Summe gleich der ursprünglichen Energie des Körpers, gleich 200 Meter-Kilogramm wäre.

Einige Schriftsteller unterscheiden wohl auch potentielle und kinetische oder actuelle Energie, je nachdem nur die Wirkungsfähigkeit, nämlich die Möglichkeit gegeben ist, Arbeit zu verrichten, oder diese Arbeit wirklich verrichtet, Bewegung hervorgebracht wird. Diese kinetische oder actuelle Energie ist dann die eigentliche lebendige Kraft.

Potentielle Energie besitzt, wie ein auf eine gewisse Höhe gehobener Körper, beispielsweise auch der Dampf von gewisser Spannung in einem Kessel. Sobald die Maschine in Gang gesetzt wird, verwandelt sich die potentielle Energie in actuelle, tritt als lebendige Kraft auf, welche allmählich aufgezehrt wird, indem die Maschine Arbeit verrichtet.

§. 11.

Specifisches Gewicht und Dichte.

Als specifisches Gewicht eines Körpers bezeichnet man diejenige Zahl, durch welche angegeben wird, wie vielmal so schwer der Körper ist, als ein gleiches Volumen Wasser bei 4° Celsius.

Auch das specifische Gewicht luftförmiger Körper bezieht man zuweilen auf diese Einheit, in der Regel aber auf die atmosphärische

Luft von normaler Zusammensetzung bei 0° und bei einem Barometerstande von 760 Millimeter.

Weil nun die betreffenden Werthe der specifischen Gewichte eben nur Verhältnisszahlen sind, kein wirkliches Gewicht bezeichnen, so ziehen manche Autoren als sprachrichtiger vor, Dichte zu sagen anstatt specifisches Gewicht, und belegen mit dem Namen specifisches Gewicht das Gewicht einer cubischen Einheit, wobei man es alsdann wirklich mit einem Gewichte zu thun hat, welches dem betreffenden Körper eigenthümlich ist.

Im metrischen System stimmen die Zahlenwerthe für das specifische Gewicht oder die Dichte mit denen für die cubische Einheit überein, wenn man auf Wasser bezogen die cubische Einheit als 1 Cubikdecimeter oder 1 Cubikcentimeter annimmt.

Wiegt 1 Cubikdecimeter einer Holzart 0,6 Kilogramm und 1 Cubikdecimeter einer Gusseisensorte 7,5 Kilogramm, so sind die Werthe 1, 0,6 und 7,5 nicht nur die Gewichte in Kilogramm für die Cubikeinheit 1 Cubikdecimeter, sondern auch die Gewichte in Gramm für 1 Cubikcentimeter, und über diesim gewöhnlichen Sinne die specifischen Gewichte bei jedem Masssystem.

Die am meisten in Anwendung kommende Cubikeinheit, 1 Cubikmeter, wiegt aber bei Wasser 1000 Kilogramm, bei der Holzart 600, bei dem Gusseisen 7500 Kilogramm. Diese Gewichte der Cubikeinheiten unmittelbar in die gebräuchlichen Formeln einzuführen, in welchen das im Sinne der obigen Definition aufzufassende specifische Gewicht vorkommt, würde zu sehr fehlerhaften Resultaten führen, die allerdings bei einiger Ueberlegung vermieden werden können. Immerhin ist dieses ein misslicher Umstand. Ich werde desshalb in diesem Buche niemals — ausser etwa bei wörtlicher Citirung fremder Publicationen — unter dem specifischen Gewicht das Gewicht der Cubikeinheit verstehen. Für die Beibehaltung des Ausdrucks specifisches Gewicht in der alten Bedeutung spricht auch die Analogie mit Mischungs- oder Atomgewicht, was ebenso keine eigentlichen Gewichte sondern nur Verhältnisszahlen vorstellt. In Betreff der Bezeichnungen dichter und dünner, anstatt specifisch schwerer und specifisch leichter, lassen sich ebenfalls Gründe für und gegen vorbringen.

Die Vorstellung der Dichte der Körper gründet sich auf die Erfahrung, dass bei gleichem Rauminhalt verschiedenartige Körper, sowie auch gleichartige unter verschiedenen Verhältnissen, ein verschiedenes Gewicht haben. Bei gleichem Volumen zweier Körper nennt man den schwereren Körper den dichteren. Diese Bezeichnung ist offenbar bei

Körpern von gleicher Zusammensetzung vollkommen gerechtfertigt. Wenn z. B. 1 Cubikmeter gewöhnliche Luft mit derjenigen Luft verglichen wird, welche von 2 Cubikmeter auf 1 Cubikmeter zusammengepresst ist, so ist die zusammengepresste Luft doppelt so dicht.

In diesem Falle rührt die Verschiedenheit der Dichte von der ungleichen Anzahl der Moleküle in demselben Raume her.

Bei verschiedenartigen Körpern aber ist diese Anschauung nicht ebenso statthaft oder naheliegend, da in diesem die Moleküle selbst in Bezug auf Grösse, Gewicht, Gruppirung und Zwischenräume der Atome verschieden sind, und ein Körper doppelt so viele Moleküle in dem gleichen Raume enthalten kann, also nach der natürlichsten Vorstellung auch doppelt so dicht wäre, wobei doch sein Gewicht bei gleichem Volumen nur eben so gross oder noch kleiner sein kann als das Gewicht des anderen Körpers mit der geringeren Anzahl von Molekülen, also des in diesem Sinne weniger dichten, dünneren Körpers. Demnach sind die Bezeichnungen specifisch schwerer und specifisch leichter den Bezeichnungen dichter und dünner vorzuziehen.

Da nun aber die Vorstellungen von der inneren Beschaffenheit der Körper hypothetisch sind, so mag man, wenigstens in dieser Beziehung auch die Vorstellung gelten lassen, dass alle Atome gleiches Gewicht haben und in den specifisch schwereren Körpern die Atome mehr angehäuft sind.

Ich bespreche diese Umstände hier etwas eingehend zum Theil deshalb, weil in diesem Buche, besonders im II. Abschnitt, die Bezeichnungen specifisch leichter und specifisch schwerer, oder identische Bezeichnungen sehr oft vorkommen müssen, und sich dieses Wort „specifisch“ bei so häufiger Wiederholung unbequem liest, aber dessen Weglassung doch nur selten zulässig ist, wenn Missdeutungen vermieden werden sollen. Ob von einer specifisch leichteren und specifisch schwereren Luftsäule die Rede ist, oder nur von einer leichteren und schwereren, ist offenbar zweierlei; eine kleine Flüssigkeitsmenge kann einer grossen gegenüber die leichtere sein, obgleich sie die specifisch schwerere ist.

Aus den erwähnten formellen Gründen will ich Dichte und specifisches Gewicht, wie es auch sonst vielfach geschieht, als gleichbedeutend ansehen und zuweilen dichter und dünner anstatt specifisch schwerer und specifisch leichter schreiben, was zudem bei Luft von gleicher Zusammensetzung unter allen Umständen gerechtfertigt ist. Auch werde ich das Wort specifisch an manchen Stellen weglassen, wo es streng

genommen stehen sollte, aber aus dem Zusammenhange die richtige Bedeutung sich von selbst versteht.

Specifische Gewichte fester Körper.

Zugleich absolute Gewichte eines Cubikdecimeter in Kilogramm und eines Cubikcentimeter in Gramm.

Ahornholz, lufttrocken	0,612	bis	0,750
Aluminium	2,500	„	2,670
Anthracit, als compacte Masse	1,300	„	1,810
Backstein	1,400	„	2,290
Birkenholz, lufttrocken	0,591	„	0,738
Blei, gegossen	11,207	„	11,445
Braunkohle, trocken, faserige (Lignit)	1,100	„	1,276
„ „ muschelige (Pechkohle)	1,290	„	1,351
„ „ erdige (Erdkohle)	1,310	„	1,436
Coaks (Coke, Koks), trocken	0,300	„	0,500
Eichenholz, lufttrocken	0,650	„	0,920
Eis, bei 0°	0,926		
Eisen, weisses Gusseisen	7,100	„	7,900
„ graues „	6,600	„	7,600
„ Stabeisen (Schmiedeeisen)	7,400	„	7,912
Fichtenholz (Rothtanne), lufttrocken	0,376	„	0,481
Glas	2,400	„	3,700
Granit	2,583	„	3,063
Gyps, frisch gebrannt	1,810		
„ gegossen und trocken	0,973		
Holzkohle, von hartem Holze	0,180	„	0,250
„ von weichem Holze	0,130	„	0,180
Kalkmörtel, frisch	1,790	„	1,859
„ trocken	1,500	„	1,638
Kalksteine	2,400	„	2,887
Kalktuff	2,390		
Kiefernholz (Föhre), lufttrocken	0,463	„	0,763
Korkholz	0,240		
Kupfer	8,580	„	8,950
Lehm, frisch und weich	1,660	„	2,850
„ ausgetrocknet und hart	1,520		
„ gebrannt	1,400	„	2,290
Lindenholz, lufttrocken	0,439	„	0,604

Marmor (körniger Kalk)	2,516	bis	2,862
Mauerwerk, von Backsteinen, frisch	1,627	„	1,700
„ „ „ trocken	1,470	„	1,532
„ „ Sandstein, frisch	2,120		
„ „ „ trocken	2,050		
„ „ dichteren Bruchsteinen, frisch . .	2,460		
„ „ „ „ trocken . .	2,400		
„ „ Beton	2,500		
Messing	7,820	„	8,736
Platin	19,500	„	21,700
Porphyr	2,400	„	2,800
Quarzgestein	2,560	„	2,750
Rothbuchenholz, lufttrocken	0,591	„	0,852
Sand, trocken	1,399	„	1,638
„ feucht	1,503	„	1,879
Sandstein	1,900	„	2,699
Silber	10,105	„	10,620
Stahl	7,400	„	8,100
Steinkohle, compact	1,199	„	1,447
„ in Stücken gehäuft	0,850	„	1,050
Tannenholz (Weisstanne) lufttrocken	0,455	„	0,746
Torf, lufttrocken	0,113	„	1,033
Weissbuchenholz (Hainbuche) lufttrocken	0,728	„	0,780
Zink	6,860	„	7,280
Zinn	7,090	„	7,475

Specifische Gewichte tropfbarer Flüssigkeiten.

Zugleich absolute Gewichte von 1 Liter in Kilogramm und von 1 Cubikcentimeter in Gramm.

Alkohol, absoluter, bei 20° C.	0,792		
Olivenöl	0,915		
Petroleum, roh	0,830	bis	0,858
„ rectificirt	0,790	„	0,830
Quecksilber	13,596		
Theer	1,015		
Wasser, destillirtes, luftfreies	1,000		
Meerwasser	1,020	„	1,029

Specifische und absolute Gewichte von Gasen
bei 0° und 760 mm. Barometerstand.

Benennung der Gase.	Specifisches Gewicht für Luft = 1.	Absolutes Gewicht von 1 Liter in Kilogramm oder specifisches Gewicht für Wasser = 1.
Atmosphärische Luft, trocken .	1,00000	0,00129318
Sauerstoff	1,10563	0,00142980
Stickstoff	0,97137	0,00125616
Wasserstoff	0,06926	0,00008958
Kohlensäure	1,52910	0,00197750
Ammoniak	0,59669	0,00077158
Kohlenwasserstoffgas, leichtes, Grubengas	0,554	0,00071638
Kohlenwasserstoffgas, doppeltes, ölbildendes	0,970	0,0012543
Leuchtgas, aus Steinkohlen .	0,394 bis 0,737	0,000509 bis 0,000953
„ aus Oel . . .	0,606 „ 0,906	0,000783 „ 0,001172

Zweiter Abschnitt.

Gleichgewicht und Bewegung flüssiger Körper.

---

§. 12.

Die Molekularbewegungen bei Betrachtung des Massengleichgewichts. Charakteristik und Eintheilung der flüssigen Körper.

Nach den in §. 3 gemachten Mittheilungen über die wahrscheinlich in allen Körpern fortwährend stattfindenden Bewegungen der Atome und Moleküle, sowie über die Verschiedenheiten dieser Bewegungen bei den Körpern der drei Aggregatzustände, könnte es unzulässig scheinen, bei den Entwickelungen der Gesetze vom Gleichgewicht flüssiger Körper die Vorstellung ruhiger Flüssigkeitstheilchen obwalten zu lassen, und in gewissen Betrachtungen die Körper zweier Aggregatzustände gemeinsam zu behandeln. Dieses ist trotzdem zulässig.

Wenn auch die Moleküle der Luft, des Sauerstoffs und Stickstoffs sich mit secundlichen Geschwindigkeiten von fast 500 Meter bewegen, so können doch diese Atom- oder Molekular-Bewegungen bei den Erscheinungen des Gleichgewichts und auch der Bewegung flüssiger Massen unberücksichtigt bleiben, ja sie müssen unberücksichtigt bleiben. Die Moleküle fliegen in so kleinen Entfernungen zwischen einander hin und her, dass man diese Entfernungen selbst mit dem besten Mikroskop nicht wahrnehmen könnte, wenn auch die einzelnen Moleküle zu erkennen wären.

Die kleinsten Theilchen, welche überhaupt zu erkennen sind, erscheinen uns in Ruhe, wenn die Masse nicht bewegt ist, und als in Ruhe befindlich sind sie folglich auch bei den Massenwirkungen und Massenerscheinungen anzunehmen.

Aus demselben Grunde können auch die älteren Anschauungen in Betreff der Charakteristik und Eintheilung der flüssigen Kärper aufrecht erhalten bleiben.

Die flüssigen Körper unterscheiden sich von den festen oder starren Körpern dadurch, dass die kleinsten Theilchen der festen Körper einen Zusammenhang besitzen, vermöge dessen sie den mechanischen Kräften, welche auf Trennung oder Verschiebung dieser Theilchen einwirken, einen merklichen, theilweise sehr grossen Widerstand entgegensetzen, während die flüssigen Körper in ihren kleinsten Theilchen einen äusserst geringen Zusammenhang haben, deswegen auch leicht verschoben und getrennt werden können. Auf der Eigenschaft der leichten Verschiebbarkeit, ferner der Raumerfüllung und Schwere, beruhen die verschiedenen Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung der flüssigen Körper.

Alle Flüssigkeiten theilt man in zwei Classen: die tropfbarflüssigen oder wasserförmigen und die elastischflüssigen oder luftförmigen Körper.

Da nämlich die luftförmigen Flüssigkeiten, wie die atmosphärische Luft selbst, die Eigenschaft der Elasticität in sehr hohem Grade besitzen, die tropfbarflüssigen Körper dagegen, wie das Wasser, in sehr geringem Grade elastisch sind, so treten unter ganz gleichen Umständen bei den Körpern der beiden Classen zuweilen verschiedene Erscheinungen ein. Dadurch ist man auch veranlasst, aërostatische und aërodynamische Gesetze von den hydrostatischen und hydrodynamischen Gesetzen zu unterscheiden.

In den meisten Erscheinungen jedoch lässt sich das Wasser als Repräsentant sämmtlicher Flüssigkeiten betrachten, und man kann die allgemeinen Gesetze der Hydrostatik und Hydrodynamik vielfältig auch auf Luft und luftförmige Körper anwenden. Aus diesem Grunde, und ferner noch deswegen, weil Erscheinungen bei tropfbaren Flüssigkeiten, durch den Gesichtssinn wahrnehmbar und grossentheils von Jedem schon wahrgenommen, auch mit dem geistigen Auge, dem Vorstellungsvermögen leicht festzuhalten sind, wird häufig vom Wasser und von Flüssigkeiten im Allgemeinen, wobei man sich Quecksilber, Wasser, Oel denken kann, die Rede sein, obgleich in den späteren Abschnitten hauptsächlich nur Luftmassen von verschiedenem specifischen Gewichte zur Sprache kommen. Das allgemeine Verhalten einer specifisch schwereren Luftmasse zu einer specifisch leichteren ist bei einem grossen Theil der durchzuführenden Untersuchungen ein ähnliches, wie das Verhalten des Quecksilbers zum Wasser,

des Wassers zum Oel, oder auch des Wassers zur Luft, wenn nämlich die Umstände der Art sind, dass von Spannungsveränderungen während der Betrachtung abgesehen werden kann; und dieses wird im gegenwärtigen Abschnitt vorausgesetzt.

§. 13.

Fortpflanzung des Druckes in flüssigen Körpern.

Jedes Theilchen einer flüssigen Masse übt vermöge seiner Schwere auf das unter ihm liegende Theilchen einen Druck aus. In Folge dessen wird letzteres zwischen die benachbarten Theilchen derselben Horizontalebene eingepresst und veranlasst einen Druck nach den Seiten, wie nach unten. Die nach den Seiten gepressten Theilchen drücken nun wieder auf die benachbarten Theilchen in der Richtung des auf sie ausgeübten Druckes sowohl, als auch nach oben und nach unten und nach jeder anderen Richtung.

Aehnliches gilt auch für die Wirkung des Druckes, der nicht durch die Schwere der betrachteten Flüssigkeit selbst, sondern durch eine andere über dieser lastende Flüssigkeit, oder auf irgend eine andere Weise ausgeübt wird.

Dadurch ergeben sich folgende Erscheinungen:

1) Die Oberfläche einer zur Ruhe gekommenen Flüssigkeit ist horizontal. So lange sie es nicht ist, muss jedes Theilchen unter dem obersten der nicht horizontalen Oberfläche den von den darüber und daneben liegenden Theilchen herrührenden Druck einseitig erleiden, welcher dasselbe in horizontaler Richtung verdrängt. Diese Kraftwirkung wird nur dann vernichtet oder aufgehoben, wenn eine gleich grosse Kraft in entgegengesetzter Richtung wirksam ist. Da eine solche bei schräger Oberfläche fehlt, so ist unter dieser Annahme auch kein Gleichgewicht für die obersten Theilchen der Flüssigkeit, für die Flüssigkeit also überhaupt möglich. Die Ursache dieser Störung des Gleichgewichts ist bei horizontaler Oberfläche nicht vorhanden.

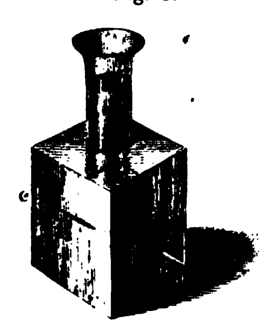
Wenn in Gefässen oder Röhren eine Flüssigkeit an den Wänden höher oder tiefer steht als in der Mitte, so sind das Wirkungen von Molekularkräften, welche in §. 21 zur Besprechung gelangen, vorläufig aber unberücksichtigt bleiben können.

2) Der durch die Schwere einer Flüssigkeit auf die Gefässwandung ausgeübte Druck ist in allen Punkten in gleicher Tiefe unter dem Spiegel der Flüssigkeit gleich gross und wächst im geraden Verhältnisse mit

dieser Tiefe. **Der Druck auf irgend einen Theil des Bodens oder der Seitenwände ist gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitssäule, deren Grundfläche die betrachtete gedrückte Fläche, und deren Höhe die Entfernung des Schwerpunktes dieser Fläche vom Spiegel der Flüssigkeit ist.** Diese Höhe heisst **Druckhöhe.** Ist die gedrückte Fläche horizontal, so ist die Tiefe dieser Fläche unter dem Spiegel der Flüssigkeit zugleich die Entfernung des Schwerpunktes der Fläche vom Spiegel, somit auch die Druckhöhe.

Sind an dem Gefässe Fig. 3 die Flächen a, b, c im Quadratmasse gegeben, die zugehörigen Druckhöhen h_1, h_2, h_3 im gleichnamigen Längenmasse, ist ferner G das Gewicht für die gleichnamige Cubikeinheit der Flüssigkeit, so sind die durch die Flüssigkeit ausgeübten Drücke in den betrachteten Flächen:

Fig. 3.



$$P_1 = a h_1 G$$
$$P_2 = b h_2 G$$
$$P_3 = c h_3 G$$

Befinden sich dieselben Flächen unter denselben Druckhöhen an drei mit verschieden dichten Flüssigkeiten gefüllten Gefässen, so dass das betreffende Gewicht der Cubikeinheit der Reihe nach G_1, G_2, G_3 wäre, so ist:

$$P_1 = a h_1 G_1$$
$$P_2 = b h_2 G_2$$
$$P_3 = c h_3 G_3$$

Diese drei letzten Gleichungen liefern die Proportion:

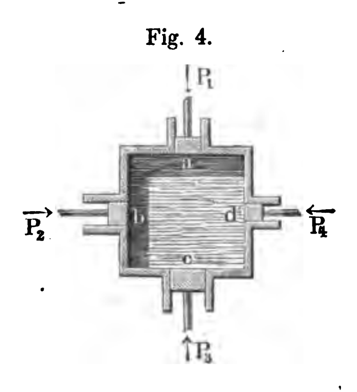
$$P_1 : P_2 : P_3 = a h_1 G_1 : b h_2 G_2 : c h_3 G_3$$

das heisst: der durch die Schwere von Flüssigkeiten auf verschiedene Theile der Gefässflächen ausgeübte Druck ist der Grösse der gedrückten Fläche, der Druckhöhe und dem Gewichte der Cubikeinheit, also auch dem specifischen Gewichte der Flüssigkeit direct proportional.

3) **Der äussere Druck,** welcher an der obersten horizontalen Fläche einer in einem Gefässe eingeschlossenen Flüssigkeit gegen dieselbe ausgeübt wird, **pflanzt sich nach allen Richtungen gleich stark fort.** Der Druck an beliebigen anderen Stellen des Gefässes ist folglich, wenn nur der äussere Druck, nicht aber die Schwere der Flüssigkeit berücksichtigt wird, für gleiche Flächen gleich gross, für ungleiche Flächen der Grösse der Flächen proportional.

Es sei z. B: Fig 4 der verticale Durchschnitt eines mit Wasser oder Luft gefüllten geschlossenen Gefässes, welches mit dicht schliessenden Kolben versehen ist. Die Grösse der Oeffnung, oder der Kolbenfläche a sei 2 Quadrat-Centimeter, ferner $b = 2$ qcm, $c = 4$ qcm, $d = 1$ qcm. Wenn nun der Kolben bei a mit einer Kraft P_1 in das Gefäss gepresst wird, so ergiebt sich, abgesehen von dem durch die Schwere der Flüssigkeit veranlassten Drucke, die Grösse der an jedem anderen Kolben nothwendigen Kraft, wenn keiner derselben herausgedrängt werden soll, aus der Proportion:

Fig. 4.

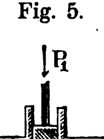


$$P_1 : P_2 : P_3 : P_4 = 2 : 2 : 4 : 1 \text{ oder}$$
$$P_1 : P_2 : P_3 : P_4 = 1 : 1 : 2 : 1/2$$

Für den Zustand des Gleichgewichts ist also an dem Kolben in b eine ebensogrosse nach innen wirkende Kraft nöthig, wie an dem Kolben in a, an dem Kolben in c die doppelte, in d nur die halbe Kraft. Denselben Druck, welcher die Kolben in b, c und d nach aussen drängt, erleiden offenbar die betreffenden gleich grossen Wandflächen, wenn diese Kolben und Oeffnungen nicht vorhanden sind, aber der äussere Druck durch den Kolben in a ungeändert bleibt.

4) Wird an der obersten horizontalen Fläche einer in einem Gefässe eingeschlossenen Flüssigkeit ein Druck ausgeübt, so ist der vollständige Druck an irgend einer Stelle der Gefässwand die Summe aus dem fortgepflanzten äusseren Drucke und dem durch die Schwere der Flüssigkeit bewirkten Drucke. So hat man, wenn in Fig. 5 der von aussen wirkende Druck für die Flächeneinheit mit p bezeichnet wird, also $P_1 = ap$ oder $p = \frac{P_1}{a}$ ist, für den fortgepflanzten äusseren Druck an der Fläche b die Grösse bp; ebenso für den fortgepflanzten äusseren Druck an der Fläche c die Grösse cp. Bezeichnet ferner G das Gewicht der Flüssigkeit für die Volumeneinheit und h_1, h_2 die Druckhöhen in b und c, so ist in b der Druck der Flüssigkeit $bh_1 G$, ferner in c der Druck der Flüssigkeit $ch_2 G$. Der Gesammtdruck in b ist:

Fig. 5.



$$P_2 = bp + bh_1 G \text{ oder}$$
$$P_2 = b \frac{P_1}{a} + bh_1 G$$

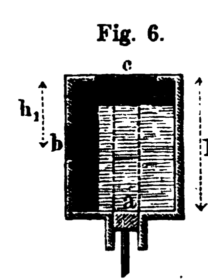
Der Gesammtdruck in c ist:

$$P_3 = cp + ch_2 G \text{ oder}$$
$$P_3 = c \frac{P_1}{a} + ch_2 G$$

5) Der Druck, welcher am Boden oder an der Seite einer in einem Gefässe eingeschlossenen Flüssigkeit durch eine äussere Kraft ausgeübt wird, pflanzt sich nicht vollkommen fort; der fortgepflanzte Druck ergiebt sich aus jenem äusseren Drucke und dem durch die Schwere der Flüssigkeit bewirkten Gegendrucke. Der Druck an irgend einer Stelle ist die Summe aus diesem verminderten äusseren Drucke und dem durch die Schwere der Flüssigkeit an dieser Stelle bewirkten Drucke.

Bezeichnet in Fig. 6 P den am Boden des Gefässes an der Fläche a ausgeübten äusseren Druck, so wird ein Theil dieser aufwärts gerichteten Kraft dazu verwendet, den Druck der Flüssigkeit gegen die Fläche a zu überwinden, die über a stehende Flüssigkeitssäule zu tragen, und dieser Theil des Druckes geht für die Fortpflanzung verloren.

Fig. 6.



Wenn allgemein p den für den Flächeninhalt fortgepflanzten Druck, G das Gewicht für die Volumeneinheit der Flüssigkeit im Gefässe, h die Höhe des Gefässes von der Kolbenfläche bis zur obersten Begrenzung der Flüssigkeit gerechnet, h_1 die Druckhöhe für einen gedrückten Theil b der Seitenfläche bedeutet, so ist zunächst der für eine Fläche von der Grösse a fortgepflanzte Theil des äusseren Druckes:

$$ap = P - ahG$$

folglich der für die Flächeneinheit fortgepflanzte Druck:

$$p = \frac{P - ahG}{a}$$

Der Gedammtdruck gegen die Fläche b der Seitenwand ist:

$$bp + bh_1 G = b \frac{P - ahG}{a} + bh_1 G$$

Der Gesammtdruck gegen die Fläche c an der Decke des Gefässes ist nur

$$cp = c \frac{P - ahG}{a}$$

Eine ähnliche Betrachtung zeigt die Grösse des Druckes an irgend einer Stelle, wenn der äussere Druck nicht am Boden, sondern an der Seitenwand des Gefässes wirkt. Man erkennt hieraus, dass die Theilchen der in einem Gefässe eingeschlossenen Flüssigkeit, sowie die Wände des Gefässes durch eine bestimmte äussere Kraft um so stärker gedrückt werden, je höher die Stelle liegt, an welcher der äussere Druck wirkt, dass sich der äussere Druck nur dann vollkommen fortpflanzt, wenn derselbe an der obersten horizontalen Fläche der Flüssigkeit, an der höchsten Stelle der Decke des Gefässes wirkt, weil nur an dieser Stelle die Druckhöhe, ein Factor des Verlustes für die äussere Kraft, Null wird.

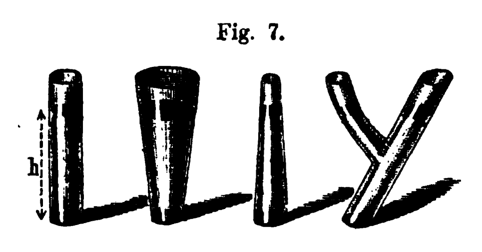
§. 14.

Das hydrostatische Paradoxon.

Die Grösse des Druckes einer Flüssigkeit auf den horizontalen Boden eines oben offenen Gefässes wird nicht durch die Menge der Flüssigkeit bestimmt, welche das Gefäss enthält, oder durch die Form des Gefässes, sondern für eine bestimmte Flüssigkeit stets durch die Grösse des Bodens und den verticalen Abstand des Bodens vom Spiegel der Flüssigkeit.

Bei gleicher Bodenfläche verschieden geformter Gefässe (Fig. 7) und bei gleich hohem Stande einer und derselben Flüssigkeit in diesen ist der Druck auf den Boden eines jeden Gefässes gleich gross, nämlich allgemein durch den Ausdruck bhG dargestellt, worin b die Grösse des Bodens, h die Druckhöhe, G das Gewicht für die Volumeneinheit der Flüssigkeit bedeutet. Man nennt diesen Satz das hydrostatische Paradoxon, indem ein Widerspruch darin zu liegen scheint, dass bei einem oben verengten Gefässe der Wasserdruck auf den Boden grösser ist, als das Gewicht des in dem Gefässe enthaltenen Wassers, und sogar eben so gross, als bei dem oben erweiterten Gefässe, obgleich das Gewicht des Wassers in beiden ausserordentlich verschieden ist.

Fig. 7.



§. 15.

Tiefe des mittleren Druckes und des Druck-Mittelpunktes.

Der mittlere Druck einer Flüssigkeit auf eine Wandfläche oder einen Theil derselben ist offenbar in mittlerer Tiefe der betrachteten Fläche vorhanden, und man hat in jener Tiefe bei jeder verticalen oder geneigten Fläche eine horizontale Linie des mittleren Druckes.

Betrachtet man einen verticalen Schnitt der Gefässwandung, so spricht man auch von einem Punkt des mittleren Drucks als vom Schnittpunkt der Linie des mittleren Drucks.

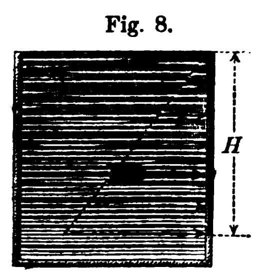
Den Punkt des mittleren Druckes darf man nicht verwechseln mit dem Mittelpunkt des Drucks. Man bezeichnet nämlich als Mittelpunkt des Drucks den Angriffspunkt der Mittelkraft aller auf die betrachtete Fläche wirkenden Druckkräfte.

Ist die gedrückte Fläche eine horizontale Ebene, so fällt der Mittelpunkt des Drucks mit dem Schwerpunkt der Fläche zusammen.

Ist aber die in Bezug auf die Linie des mittleren Drucks symmetrisch angenommene gedrückte Fläche geneigt oder vertical, so muss der Mittelpunkt des Drucks tiefer liegen als der Punkt des mittleren Drucks, weil der Druck gleichmässig nach unten zunimmt, folglich die Druckkräfte der unteren Hälfte überwiegend zur Geltung gelangen.

Der betrachtete Wandtheil sei ein bis an den Spiegel der Flüssigkeit reichendes Rechteck von der Höhe H. (Fig. 8.)

Fig. 8.



Hier erfolgt von oben nach unten die Zunahme der normalen Druckkräfte im gleichen Verhältniss, wie in einem gedachten Dreieck von der Höhe H die Zunahme der mit der Basis parallelen Linien oder Schichtlängen. Folglich liegt in diesem Fall der Mittelpunkt des Drucks in der Tiefe des Dreieckschwerpunkts, also $^2/_3\, H$ unter dem Spiegel der Flüssigkeit.

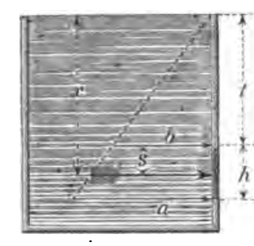
Die gedrückte Fläche sei zweitens ein mit ihrer Oberkante in der Tiefe t unter dem Flüssigkeitsspiegel liegendes Rechteck von der Höhe h. (Fig. 9.)

Hier tritt an die Stelle des vorhin gedachten Dreiecks ein Trapez, und die Tiefe des Schwerpunkts dieses Trapezes ist die Tiefe des Druckmittelpunkts.

Für das Trapez ist die Tiefe des Schwerpunkts unter der oberen der parallelen Seiten:

$$s = \frac{h}{3}\left(\frac{2a + b}{a + b}\right) \quad \ldots \ldots \ldots (1$$

Fig. 9.



Statt s hat man zu setzen $x - t$, und um die gesuchte Tiefe x durch die gegebene Tiefe t und die gegebene Höhe h auszudrücken, sind die Grössen a und b durch Einführung von t und h zu eliminiren.

In dem skizzirten Dreieck hat man:

$$a : b = (h + t) : t$$

$$b = \frac{at}{h + t} \quad \ldots \ldots (2$$

Die Substitution der Werthe von s und b in Gleichung 1 ergiebt:

$$x - t = \frac{h}{3}\left(\frac{2a + \frac{at}{h + t}}{a + \frac{at}{h + t}}\right)$$

$$x - t = \frac{h}{3}\left(\frac{2h + 2t + t}{h + t + t}\right)$$

$$x - t = \frac{h}{3}\left(\frac{2h + 3t}{h + 2t}\right)$$

$$x = \frac{1}{3}\left(\frac{2h^2 + 3ht}{h + 2t}\right) + t$$

$$x = \frac{1}{3}\left(\frac{2h^2 + 3ht + 3ht + 3 \cdot 2t^2}{h + 2t}\right)$$

$$x = \frac{2}{3} \cdot \frac{h^2 + 3ht + 3t^2}{h + 2t} \quad \ldots \ldots (3$$

Nach dieser Gleichung ist bei gegebenen speciellen Zahlenwerthen für die Höhe der gedrückten rechteckigen Wandfläche und die Tiefe derselben unter dem Flüssigkeitsspiegel die Tiefe des Druckmittelpunkts leicht zu berechnen.

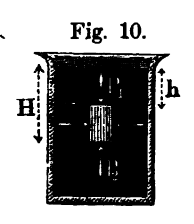
§. 16.

Auftrieb in Flüssigkeiten.

Ist irgend ein Körper von einer Flüssigkeit umgeben, so erleidet er von allen Seiten einen Druck, welcher sich für jeden Theil seiner

Aussenfläche nach der Grösse dieses Theiles, der Druckhöhe und dem Gewichte der Volumeneinheit der Flüssigkeit bestimmen lässt. Der Einfachheit wegen werde der von der Flüssigkeit umgebene Körper als parallelepipedisch angenommen (Fig. 10); doch haben die nachfolgenden Schlüsse für Körper von ganz beliebiger Form und Lage unter sonst gleichen Umständen allgemeine Geltung.

Fig. 10.



Zunächst ist klar, dass sich der Körper weder nach rechts noch nach links, weder vorwärts noch rückwärts, noch nach irgend einer anderen horizontalen Richtung bewegen wird, wenn die Flüssigkeit selbst in Ruhe ist; denn in jeder solcher Richtung wirken auf den Körper zwei Druckkräfte, die einander gleich, aber entgegengesetzt sind, die sich also gegenseitig aufheben, vernichten müssen. Der Druck, welchen der Körper von oben nach unten erleidet, ist, wenn in gleichnamigen Längen- und Flächenmassen h die Höhe des Flüssigkeitsspiegels über dem Körper, A die obere Fläche des Körpers ist, und G das Gewicht der Flüssigkeit für die mit jenen Massen gleichnamige Cubikeinheit bezeichnet, allgemein in dem Ausdrucke dargestellt:

$$P_1 = A h G$$

In ähnlicher Weise erhält man den Druck von unten nach oben, wenn H die Entfernung der unteren Grundfläche des Körpers vom Niveau ist, in dem Ausdrucke:

$$P_2 = A H G$$

Dieser letzte Druck ist in jedem Falle grösser als der vorhergehende; es ist folglich eine aufwärts gerichtete Resultirende beider Druckkräfte vorhanden, deren Grösse gleich ist der Differenz beider Kräfte; wenn R diese Resultirende bezeichnet, so hat man

$$R = P_2 - P_1 = A H G - A h G = A\,(H - h)\,G$$

Diese Resultirende aus dem vertical aufwärts und vertical abwärts wirkenden, von der Schwere der Flüssigkeit herrührenden Drucke, oder die Kraft, durch welche der Körper emporgehoben würde, wenn er selbst gewichtlos wäre, nennt man den Auftrieb. Da $A(H-h)$ das Volumen des angenommenen Körpers ist, so ist die Grösse des Auftriebs gleich dem Gewichte einer Flüssigkeitsmenge von dem Volumen des eingetauchten Körpers, oder gleich dem Gewichte der von dem Körper verdrängten Flüssigkeit.

Der Auftrieb wirkt auf den eingetauchten Körper in verticaler Richtung nach oben, die Schwere des Körpers gerade in der entgegen-

gesetzten Richtung; das Gewicht des Körpers, wenn derselbe nun in der Flüssigkeit gewogen würde, ist die Resultirende aus dem Auftrieb und der in dem Körper wirkenden Schwere oder dem eigentlichen Gewichte des Körpers. Mit anderen Worten: Der Körper verliert, von der Flüssigkeit umgeben, so viel an seinem Gewichte, als die von ihm verdrängte Flüssigkeit wiegt.

Der eingetauchte Körper sei von homogener Masse und sein specifisches Gewicht sei grösser als das der Flüssigkeit. Aus dieser Annahme folgt unmittelbar, dass für irgend eine Volumeneinheit des Körpers das Gewicht desselben grösser ist, als das Gewicht der Flüssigkeit für dieselbe Volumeneinheit, und dass auch der ganze Körper schwerer ist, als eine Menge der Flüssigkeit von demselben Volumen. Die vertical nach unten gerichtete Wirkung der Schwere des Körpers ist also grösser, als die entgegengesetzte Wirkung des Auftriebs; der Körper sinkt an den Boden. Die Resultirende, welche das Sinken veranlasst, ist die Differenz zwischen dem Gewichte des Körpers und dem der verdrängten Flüssigkeit.

Ist das specifische Gewicht des Körpers gerade so gross, wie das der Flüssigkeit, so ist die Wirkung der Schwere des Körpers der Wirkung des Auftriebs gleich, die Resultirende für jede Richtung der Bewegung ist Null, der Körper bleibt, von der Flüssigkeit umgeben, in jeder Lage und Tiefe in Ruhe, er ist mit der Flüssigkeit im Gleichgewicht.

Ist endlich der eingetauchte Körper specifisch leichter, als die Flüssigkeit, so ist auch der Auftrieb grösser, als das Gewicht des Körpers; derselbe muss folglich in die Höhe gehoben werden, und zwar theilweise über dem Spiegel der Flüssigkeit, so dass schliesslich, wenn der Körper in Ruhe bleibt, das Gewicht der durch den noch eingetauchten Theil verdrängten Flüssigkeit dem ganzen eigentlichen Gewichte des Körpers gleich ist.

§. 17.

Besondere Fälle des Auftriebs und einseitigen Druckes. Gleichgewicht sich berührender Flüssigkeiten von ungleichem specifischen Gewichte.

Aus den vorhergehenden Untersuchungen kann man nicht den Schluss ziehen, dass unter allen Umständen ein Körper, dessen specifisches Gewicht geringer ist, als das der Flüssigkeit, wenn er unter deren

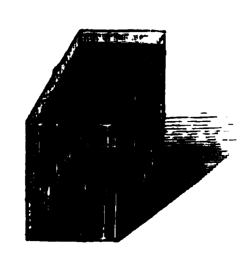
Niveau gebracht wird, immer emporgehoben werde, und dass ein specifisch schwererer Körper, der sich über dem Boden befindet, immer sinken müsse. Es wird nicht unpassend sein, einige Ausnahmefälle zu betrachten, namentlich wegen der Vergleichung ähnlicher Fälle bei festen und flüssigen Körpern, welche mit einer Flüssigkeit von anderem specifischen Gewicht in Berührung stehen.

1) Ist der in einer Flüssigkeit befindliche Körper nicht von gleichförmiger Masse, besteht er also z. B. aus zwei oder mehreren Körpern, die theils specifisch leichter, theils specifisch schwerer sind, als die Flüssigkeit, so muss er steigen, in Ruhe bleiben oder sinken, je nachdem sein ganzes absolutes Gewicht kleiner, ebensogross oder grösser ist, als das absolute Gewicht der verdrängten Flüssigkeit.

Eine leere, eigentlich mit Luft gefüllte Flasche von gewöhnlicher Form und Beschaffenheit, in Wasser geworfen, ragt theilweise über dem Wasserspiegel hervor, sie schwimmt. Man kann nun leicht durch Einbringen von etwas Wasser oder Sand u. dergl. die Flasche gerade so viel beschweren, dass sie, verschlossen unter das Niveau einer ruhigen Wassermasse gebracht, in jeder Tiefe in Ruhe bleibt. Bei der geringsten ferneren Belastung sinkt sie jedoch an den Boden. — *Auch in einem unten offenen, hinlänglich schweren Gefässe wird eine Luftmasse unter dem Wasserspiegel gehalten.*

2) Ein fester Körper von beliebigem specifischen Gewichte kann zwischen dem Boden und dem Spiegel irgend einer Flüssigkeit in Ruhe sein, wenn der feste Körper mit einer ziemlich ausgedehnten ebenen Seitenfläche an einer ebenen Seitenwand des Gefässes anliegt (Fig. 11).

Fig. 11.



Der einseitige horizontale Druck vermag den Körper so fest gegen die Wand zu pressen, dass die aus dem Auftrieb und dem Gewichte des Körpers resultirende Kraft, welche bei einem specifisch schwereren Körper vertical abwärts, bei einem specifisch leichteren vertical aufwärts gerichtet ist, überwunden wird.

Ein Beispiel, wobei jedenfalls die Wirkung des einseitigen Drucks einer Flüssigkeit, des einseitigen Luftdrucks, in hohem Grade zur Geltung kommt, ist das feste Aneinanderhaften zweier geschliffenen Platten, eine Erscheinung, welche man häufig nur der Adhäsion oder Flächenanziehung zuschreibt, welche allerdings dabei mitwirkt.

Nimmt man nun an, dass in einem Gefässe *zwei Flüssigkeiten*

von verschiedenem specifischen Gewichte neben einander stehen, so können dieselben auch nicht für einen Augenblick in Ruhe sein. In allen Punkten der gemeinschaftlichen Fläche ist der Druck von Seite der leichteren Flüssigkeit geringer als der von Seite der schwereren. Die Differenz des Druckes wächst mit der Tiefe unter dem Niveau, ist folglich am Boden am grössten. In Folge dessen verdrängt die schwerere Flüssigkeit die leichtere zunächst am Boden, hebt diese empor, bis die specifisch leichtere Flüssigkeit eine horizontale Schicht über der specifisch schwereren bildet.

3) Ein Körper kann in einer specifisch schwereren Flüssigkeit nicht emporsteigen, wenn der Druck der Flüssigkeit von unten nicht stattfinden kann, oder wenn dieser aufwärts gerichtete Druck, an einem zu kleinen Theile der unteren Grundfläche wirkend, zu gering ist, um den von oben wirkenden Druck sammt dem Gewichte des Körpers zu überwinden.

Legt man z. B. eine unten vollkommen ebene Scheibe aus Holz auf den ebenen Boden eines Gefässes oder den geschliffenen Rand eines durch theilweises Füllen mit Wasser oder durch einen anderen Körper hinlänglich beschwerten Glases, so wird unter Wasser die Scheibe um so fester nach unten gedrückt, je höher das Wasser darüber steht (Fig. 12).

Fig. 12.

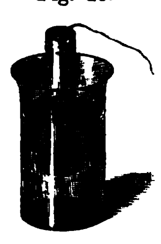


Befindet sich nun am Boden eines Gefässes in Form einer Scheibe oder Säule die Masse einer specifisch leichteren Flüssigkeit, an den Seiten und oben in unmittelbarer Berührung mit einer specifisch schwereren Flüssigkeit, so ist unter der Annahme dieser Gestalt und Lage des inneren flüssigen Körpers kein Auftrieb vorhanden, allein in der Wirklichkeit kann jene Annahme kaum für einen Augenblick gelten. Die horizontalen Druckkräfte von Seite der schwereren Flüssigkeit heben sich hier nicht auf, wie bei einem festen Körper, sondern bewirken wegen der Verschiebbarkeit der Theilchen eine Pressung eines jeden Theilchens zwischen das darüber und darunter liegende, wodurch ein Druck nach oben resultirt, welcher das Emporsteigen der leichteren Flüssigkeit veranlasst.

4) Ein Körper wird in einer specifisch leichteren Flüssigkeit nicht sinken, wenn durch Verminderung des Drucks von oben der von unten wirkende Druck so überwiegend wird, dass er jenen verminderten oberen Druck sammt dem Gewichte des Körpers überwindet. So kann z. B.

eine geschliffene Glasplatte im Wasser bei gewisser Tiefe so fest an den unteren Rand eines vertical gehaltenen hohlen Cylinders angepresst werden, dass sie nicht zu Boden sinkt (Fig. 13).

Fig. 13.



Nimmt man an der Stelle der Glasplatte unter ähnlichen Umständen eine kleine Menge einer specifisch schweren Flüssigkeit an, welche den unteren Theil des Cylinders in einer horizontalen Schicht ausfülle, während der obere Theil des Cylinders leer sei, so könnte nur an der unteren Begrenzung dieser Schicht der Druck der äusseren Flüssigkeit wirksam werden, letztere würde in den Cylinder empordringen, die Schicht der specifisch schwereren Flüssigkeit über sich tragend, wenn diese Schicht horizontal bliebe. Da nun aber wegen der leichten Verschiebbarkeit bei der geringsten Bewegung die unterste Begrenzung der betrachteten Schicht im Cylinder aufhört horizontal zu sein, so wird dadurch sogleich ein Seitendruck und demzufolge ein abwärts gerichteter Druck zunächst in den untersten, alsdann auch in allen übrigen Theilchen der specifisch schwereren Flüssigkeit überwiegend auftreten, und beide Flüssigkeiten werden nicht früher zur Ruhe kommen, bis die specifisch schwerere Flüssigkeit gänzlich aus dem Cylinder ausgeflossen ist und eine horizontale Schicht am Boden des Gefässes bildet.

5) Die Raumerfüllung kann Ursache sein, dass ein Körper von einer specifisch leichteren Flüssigkeit getragen wird (Fig. 14). Bringt man über den Spiegel des Wassers in einem Cylinderglase eine Scheibe aus Stein, Glas oder Metall, welche sich der inneren Wandung des Glases genau anschliesst, so wird diese Scheibe, auch ohne dass sie durch Reibung im Glase gehalten wird, nicht unter den Spiegel des Wassers sinken, weil dieses nicht über die Scheibe emporgelangen kann, eine dem Volumen der Scheibe gleiche Wassermenge aber nothwendig an der tieferen Stelle verdrängt werden müsste, welche die Scheibe einnehmen sollte.

Fig. 14.



Eine ähnliche Erscheinung, als Wirkung des einseitigen Verticaldruckes und der Raumerfüllung, kann bei sich berührenden Flüssigkeiten nicht von Dauer sein. Es befinde sich in einem Gefässe eine dichtere Flüssigkeit über dem Spiegel einer dünnern. Der Druck von Seite der dichtern Flüssigkeit ist in allen Punkten des Spiegels der dünnern zunächst vertical abwärts wirkend und gleich gross, und eben so gross ist auch der durch Fortpflanzung in denselben Punkten erzeugte

Gegendruck, so lange die beiden Spiegel genau horizontal sind. Dasselbe gilt für jeden horizontalen Schnitt der beiden Flüssigkeiten. Es ist also Gleichgewicht denkbar, wenn eine specifisch schwerere Flüssigkeit über einer specifisch leichteren steht. In Wirklichkeit ist dieses Gleichgewicht nicht von Dauer; man kann dasselbe ein sehr labiles Gleichgewicht nennen. Sobald die geringste äussere Einwirkung die Horizontalität beider Spiegel stört, so sind die Druckhöhen, somit die Druckkräfte in den horizontalen Schnitten verschieden; an den Stellen des überwiegenden abwärts gerichteten Druckes muss die dichtere Flüssigkeit herabfliessen; während sie die dünnere Flüssigkeit emporhebt, bis dieselbe eine genau horizontale Schicht über der dichteren Flüssigkeit bildet.

Aus den vorstehenden Untersuchungen geht hervor, dass Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht, in keiner Weise an ihrer gegenseitigen Berührung gehindert, nur dann dauernd im Gleichgewichte sein können, wenn sie nach der Reihenfolge ihrer specifischen Gewichte in horizontalen Schichten so gelagert sind, dass die schwerste Flüssigkeit die unterste, die leichteste Flüssigkeit die oberste Schicht bildet.

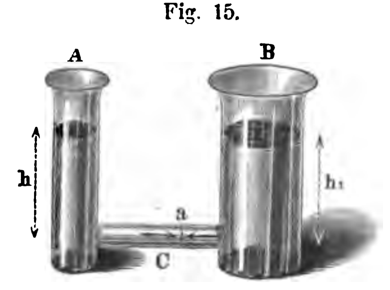
§. 18.

Gleichgewicht einer Flüssigkeit in communicirenden Gefässen.

Gefässe, welche gegenseitig so verbunden sind, dass eine Flüssigkeit von einem Gefässe in das andere einfliessen kann, nennt man communicirende Gefässe.

Sind A und B (Fig. 15) solche durch die Röhre C verbundene, communicirende Gefässe, welche eine Flüssigkeit von gleichmässiger Dichte enthalten, deren Gewicht für die Volumeneinheit mit G bezeichnet werde, so ist der Druck, welcher in irgend einem verticalen Querschnitt a der Röhre C durch die in dem Gefässe A befindliche Flüssigkeit ausgeübt wird:

Fig. 15.



$$p = a h G.$$

Ebenso ist der durch die Flüssigkeit im Gefässe B an demselben Röhrenquerschnitt a veranlasste Gegendruck:

$$p_1 = a h_1 G.$$

Soll die Flüssigkeit in beiden Gefässen in Ruhe, im Gleichgewichte sein, so darf sich auch die in der Röhre befindliche Flüssigkeit weder von A nach B hin, noch in entgegengesetzter Richtung bewegen, indem damit nothwendig ein Sinken der Flüssigkeit in dem einen Gefässe, ein Steigen in dem anderen verknüpft wäre. Soll sich aber die Flüssigkeit in der Röhre nach keiner der beiden Richtungen bewegen, so müssen die beiden Druckkräfte p und p_1 einander gleich sein.

Die Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht der Flüssigkeit in den communicirenden Gefässen ist also

$$a h G = a h_1 G \text{ oder}$$
$$h = h_1.$$

Dieselbe Betrachtung würde für drei und mehrere Gefässe stattfinden, so dass man folgenden Satz erkennt:

In communicirenden Gefässen ist eine gleichmässig dichte Flüssigkeit im Gleichgewicht, wenn die Spiegel der Flüssigkeit in allen Gefässen in einer und derselben Horizontalebene liegen.

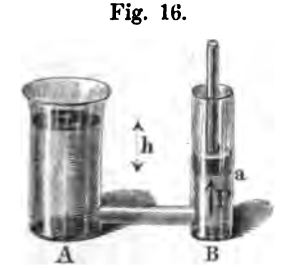
Da hierbei die Weite der Gefässe nicht in Betracht kommt, so kann das eine Gefäss sehr weit, das andere eine enge Röhre sein, und man sieht, dass auf diese Weise eine sehr geringe Menge einer Flüssigkeit einer sehr grossen Menge derselben das Gleichgewicht halten kann.

§. 19.

Druck einer Flüssigkeit in communicirenden Gefässen.

Ist von zwei communicirenden mit einer Flüssigkeit gefüllten Gefässen (Fig. 16) das eine durch einen dicht schliessenden Kolben oder auf andere Weise geschlossen, so dass in dem offenen Gefässe die Flüssigkeit um die Höhe h höher steht, als in dem geschlossenen, so wirkt auf die abschliessende Fläche a, wenn das Gewicht für die Volumeneinheit der Flüssigkeit G ist, ein Druck von der Grösse:

Fig. 16.



$$P = a h G.$$

Denkt man sich nämlich statt des Kolbens über a eine Flüssigkeitssäule von der Höhe h drückend, so wäre die Flüssigkeit auf beiden Seiten im Gleichgewicht. Der im Querschnitt a vertical abwärts wirkende Druck der nun hinzugefügten Flüssigkeitssäule von der Höhe h wäre $a h G$.

Eben so gross muss aber der Druck in entgegengesetzter Richtung sein; sonst wäre kein Gleichgewicht vorhanden. Ein vertical aufwärts gerichteter Druck von der Grösse ahG ist demnach in dem Querschnitt a wirksam, mag derselbe nun zum Tragen der hinzugefügten Flüssigkeitssäule verwendet werden, oder auf einen Kolben, oder überhaupt auf eine die Flüssigkeit in a begrenzende Fläche wirken.

Da die Kolbenfläche sehr klein sein kann, und in diesem Falle auch der auf den Kolben von Seite der Flüssigkeit wirkende Druck verhältnissmässig klein wird, der äussere von oben nach unten wirkende Druck aber, welcher das Gleichgewicht herstellt, eben so gross ist, wie der am Kolben von unten nach oben wirkende Druck, so kann man mit einer verhältnissmässig sehr geringen Kraft einer grossen Menge einer Flüssigkeit das Gleichgewicht halten.

Ist umgekehrt die Weite des offenen Gefässes sehr gering im Verhältnisse zur Fläche a, so ändert dieses an dem in der Fläche a ausgeübten Drucke der Flüssigkeit Nichts. Man kann also auch mit einer sehr geringen Menge einer Flüssigkeit einen verhältnissmässig sehr starken Druck erzielen.

§. 20.

Gleichgewicht verschiedener Flüssigkeiten in communicirenden Gefässen.

Enthalten zwei communicirende Gefässe Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewichte, so muss jedenfalls im Zustande des Gleichgewichts die specifisch leichtere Flüssigkeit höher stehen als die specifisch schwerere. In welchem Verhältnisse dieses stattfindet, zeigt folgende Betrachtung:

Fig. 17.



Enthält (nach Fig. 17) das Gefäss A die dichtere Flüssigkeit, welche auch die Verbindungsröhre und theilweise das Gefäss B füllt, so dass letzteres die dünnere Flüssigkeit darüber enthält, so ist zunächst klar, dass die Flüssigkeit in beiden Gefässen unter der durch die gemeinschaftliche Begrenzungsfläche a gedachten Horizontalen für sich im Gleichgewicht ist. Das Versältniss der Höhen der sich gegen-

seitig das Gleichgewicht haltenden Flüssigkeitssäulen ist also nur über dieser Horizontalen zu suchen. Diese Höhen seien allgemein für die dichtere Flüssigkeit h, für die dünnere h_1. Ist ferner G das Gewicht für die Volumeneinheit der dichtern Flüssigkeit, G_1 dasselbe für die dünnere, a die Grösse der gemeinschaftlichen horizontalen Begrenzungsfläche, so ist der in dieser Fläche aufwärts wirkende, aus dem Gefässe A fortgepflanzte Druck:

$$P = a h G.$$

Der in derselben Fläche a abwärts wirkende, von der dünneren Flüssigkeit in B ausgeübte Druck ist:

$$P_1 = a h_1 G_1.$$

Für den Zustand des Gleichgewichts müssen alle Theilchen beider Flüssigkeiten an der Fläche a in Ruhe sein; die aufwärts und abwärts gerichteten Druckkräfte müssen sich gegenseitig aufheben. Die Bedingungsgleichung für das Gleichgewicht ist also:

$$P = P_1 \text{ oder}$$
$$a h G = a h_1 G_1,$$
$$h G = h_1 G_1$$
$$h : h_1 = G_1 : G.$$

Ist s das specifische Gewicht der dichteren Flüssigkeit, s_1 das der dünneren, so kann man für das Verhältniss $G_1 : G$ auch setzen $s_1 : s$; denn es verhalten sich die absoluten Gewichte für irgend welche Volumeneinheiten wie die specifischen Gewichte; folglich hat man auch als Bedingung für das Gleichgewicht zweier Flüssigkeiten in communicirenden Gefässen die Gleichung:

$$h : h_1 = s_1 : s,$$

das heisst: die Höhen zweier Flüssigkeiten, welche in communicirenden Gefässen im Gleichgewichte stehen, verhalten sich umgekehrt, wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten.

Da diese Bedingung des Gleichgewichts von der Weite und Form der Gefässe unabhängig ist, so können die absoluten Gewichte der ganzen sich das Gleichgewicht haltenden Flüssigkeiten sehr verschieden sein.

Kennt man die specifischen Gewichte beider Flüssigkeiten und ferner noch die Höhe der einen Flüssigkeit über der gemeinschaftlichen horizontalen Begrenzungsfläche, so findet man die für den Zustand des Gleichgewichts nöthige Höhe der anderen Flüssigkeit aus der obigen Bedingungsgleichung. Kennt man also die Grössen s, s_1 und h, so ist

$$h_1 = h \frac{s}{s_1}.$$

§. 21.

Besondere Erscheinungen. Concave und convexe Oberfläche. Capillarattraction und Capillardepression. Diffusion. Endosmose und Exosmose.

Die Gesetze von der Horizontalität des Flüssigkeitspiegels, vom Gleichgewichte bei communicirenden Gefässen und von der Lagerung in horizontalen Schichten nach der Reihenfolge der specifischen Gewichte — erleiden durch die Wirkungen von Molekularkräften gewisse Beschränkungen.

Bei tropfbaren Flüssigkeiten, welche ruhig in Gefässen stehen, kann man bemerken, dass die Oberfläche nicht in der ganzen Ausdehnung vollkommen horizontal ist, sondern der Flüssigkeitspiegel rings an den Gefässrändern eine geringe Erhebung oder Vertiefung hat.

Bei sehr engen Röhren wird diese Unebenheit als starke Concavität oder Convexität ersichtlich.

Ferner steht in sehr engen Röhren und damit communicirenden weiten Gefässen die Flüssigkeit verschieden hoch.

Auch in porösen Körpern, in einem Schwamm, einem Ziegelstein, einem Stück Zucker, einem feuchten Sandhaufen — steigt eine Flüssigkeit in die Höhe, wenn nur ein kleiner Theil dieser Körper mit der Flüssigkeit in Berührung steht.

Diese Erscheinungen sind als Aeusserungen von Molekularkräften aufzufassen, welche die Wirkung der Erdanziehung in gewissem Grade überwiegen können.

Gleichzeitig treten drei Kräfte auf:

1) die Anziehung der Erde, die Schwere, welche auf Herstellung der horizontalen Oberfläche und gleicher Niveauhöhen wirkt;
2) die äussere Anziehung der sich berührenden Körper, die Adhäsion, welche auf Ausbreitung der Flüssigkeit an der festen Fläche wirkt;
3) die innere Anziehung der flüssigen Theilchen, die Cohäsion, welche auf Bildung einer kugelförmigen Oberfläche wirkt.

Ist die Adhäsion den beiden anderen Kräften gegenüber vorwaltend, so steigt die Flüssigkeit am Rande empor, bei engen Röhren entsteht Capillarattraction; so verhält sich Wasser in Glasröhren.

Ist die Cohäsion vorwaltend, so steht die Flüssigkeit am Rande tiefer und in engen Röhren erscheint Capillardepression; so bei Quecksilber in Glasröhren.

Eine andere eigenthümliche Erscheinung ist die Diffusion. Man bezeichnet damit eine Anzahl von Vorgängen, welche scheinbar den Gesetzen der Schwere entgegen in Folge überwiegender Anziehung der Theilchen verschiedener Flüssigkeiten und auch fester Zwischenkörper auftreten.

Die Diffusion besteht im Allgemeinen darin, dass specifisch schwerere und leichtere Flüssigkeiten sich allmählich in einander zu einer gleichmässigen Mischung verbreiten.

Dieser Vorgang wird, wie bei verschiedenen tropfbaren Flüssigkeiten experimentell gefunden worden ist, noch befördert, wenn beide Flüssigkeiten durch einen porösen, capillaren, organischen oder unorganischen, dünnen Körper getrennt sind.

So erfolgt vermöge der Diffusion das gegenseitige Durchdringen von Weingeist und Wasser durch eine Thierblase.

Die Blase nimmt von beiden getrennten Substanzen durch Molekularanziehung etwas in sich auf, die aufgenommene Substanz geht nach der andern Seite über, und dieser Vorgang dauert so lange, bis auf beiden Seiten gleiche Mischungen vorhanden sind. Solches Hineindringen und Herausdringen nennt man auch Endosmose und Exosmose.

Eine andere Art von Diffusion entsteht dadurch, dass Gase von gewissen porösen Umschliessungskörpern bis zum tropfbarflüssigen Zustand verdichtet werden, in diesem die porösen Körper durchdringen und dann auf der anderen Seite wieder in den gasförmigen Zustand übergehen.

Auf derartige Vorgänge wird weiterhin bei Besprechung der praktisch wichtigen Frage, ob Kohlenoxydgas durch rothglühendes Eisen hindurchdringt, zurückzukommen sein.

Die gewöhnliche Diffusion der Gase ist in Betreff der Luftfeuchtigkeit und Luftbeschaffenheit überhaupt von ausgedehnter Wichtigkeit.

Wenn Gase von verschiedener Natur, die jedoch nicht chemisch aufeinander einwirken, gegenseitig in Berührung sind, tritt zunächst, wie bei tropfbaren Flüssigkeiten — Quecksilber, Wasser, Oel — die Bewegung und Lagerung nach der Reihenfolge der specifischen Gewichte ein. Doch ist dieser Zustand nicht von Dauer. Man kann beispielsweise kohlensaures Gas, welches $1\frac{1}{2}$ mal so schwer ist als die atmosphärische Luft von derselben Temperatur, in ruhiger Luft von einem Gefässe in ein anderes übergiessen und nach kurzer Zeit findet man noch Kohlensäure am Boden des Gefässes. Nach längerer

Zeit jedoch enthält das Gefäss nur atmosphärische Luft mit demselben geringen Gehalte an Kohlensäure wie die umgebende Luft.

Auch in einem geschlossenen Gefässe vermischen sich in einiger Zeit Kohlensäure und das ausserordentlich leichte Wasserstoffgas vollkommen gleichmässig. Da alle Gase von verschiedener Natur sind, eine verschiedene Gruppirung der selbst wieder ungleich beschaffenen Atome und Moleküle haben, so erfolgt die gegenseitige Verbreitung, Diffusion, bei allen Gasen, wenn nicht in Folge chemischer Affinität die noch innigere chemische Verbindung derselben stattfindet.

Von Diffusion im eigentlichen Sinne kann aber, wie aus Obigem hervorgeht, bei einer und derselben Gasart, welche theilweise durch Aufnahme einer grösseren Wärmemenge specifisch leichter geworden ist, nicht die Rede sein. In diesem Falle, also bei dem Vorhandensein warmer und kalter Luft in einem Raume, gelten die allgemeinen Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung von Flüssigkeiten, wobei jedoch in untergeordneter Weise ähnliche Vorgänge wie bei der Diffusion stattfinden können.

§. 22.

Analogie und Verschiedenheit der Bewegung von Flüssigkeiten und der Fallbewegung.

Die Kraft, welche der Massenbewegung wie dem Gleichgewichte flüssiger Körper zu Grunde liegt, ist die Schwerkraft. Diese Kraft wirkt auf alle kleinsten Theilchen oder Moleküle eines Körpers beständig und gleichmässig; sie ist Ursache des Druckes, den ein Körper auf seine Unterlage äussert, Ursache des Fallens eines nicht unterstützten Körpers; während der Fallbewegung noch fortwährend wirksam, ist jene Kraft auch Ursache der beschleunigten Fallbewegung, ist und heisst die beschleunigende Kraft.

Da eine und dieselbe Naturkraft Gleichgewicht, Druck, Bewegung in flüssigen Körpern, sowie auch das Niederfallen eines nicht unterstützten Körpers, die Erscheinungen während der Bewegung selbst verursacht, so werden die Gesetze des freien Falls in gewisser Uebereinstimmung stehen mit den Gesetzen der Bewegung von Flüssigkeiten und diesen zu Grunde gelegt werden können.

Die Geschwindigkeit eines Körpers, wenn er die Höhe H durchfallen hat, giebt der Ausdruck an:

$$c = \sqrt{2\,g\,H}$$

Darin ist $g = 9{,}81$ Meter die Acceleration oder Beschleunigung der Schwere, nämlich die Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper durch die beschleunigende Kraft der Erdanziehung in der ersten Secunde erlangt und um welche in jeder folgenden Secunde die Fallgeschwindigkeit vermehrt wird.

Dies gilt für die wägbare Materie allgemein, wo überhaupt der freie Fall im leeren Raume oder in einem wenig widerstehenden Medium gegeben und möglich ist, die Massentheilchen mögen einem festen oder flüssigen Körper angehören. Nur bewegen sich bei dem freien Fall eines starren Körpers, eines Steins, die Massentheilchen in unveränderlicher gegenseitiger Verbindung mit einander, bei dem freien Fall eines tropfbar flüssigen Körpers, einer Wassermasse, ohne solche feste Verbindung, und bei luftförmigen Massen kann wegen der Ausgleichung der Spannkräfte nicht mehr vom freien Fall im leeren Raume und wegen des verhältnissmässig grossen Luftwiderstandes, auch abgesehen von der Diffusion, ebenso nicht mehr vom freien Fall in der Luft die Rede sein. Trotzdem bilden die Gesetze des freien Falls die Grundlage auch für die Bewegung luftförmiger Körper, wie aus dem Nachfolgenden sich ergeben wird.

Eine Verschiedenheit der Bewegungszustände den starren Körpern gegenüber folgt auch aus der allseitigen Fortpflanzung des Drucks bei den in Gefässe eingeschlossenen also am freien Fall gehinderten, aber doch mit einer bestimmten Geschwindigkeit zum Ausflusse gelangenden flüssigen Massen. Es ist dabei nicht mehr gleichgültig, ob die Massentheilchen in fester Verbindung oder leicht verschieblich neben einander liegen.

In dieser Hinsicht jedoch sind die tropfbar flüssigen und luftförmigen Körper wieder analog zu betrachten, und zwar in ganz gleicher Weise, so lange von Spannungsveränderungen abgesehen werden kann, was in sehr vielen Fällen zulässig ist.

Wäre die Anziehung der Erde n mal so gross, als sie wirklich ist, so müsste auch die Beschleunigung n mal so gross, also ng statt g sein, und die allgemeine Gleichung für die Fallgeschwindigkeit wäre alsdann

$$c = \sqrt{2\,n\,g\,H}$$

Nicht anders ist es, wenn die Wirkung der Erdanziehung von n Massentheilchen sich in einem einzigen concentrirt, wie es bei den flüssigen Körpern in Folge der Fortpflanzung des Drucks geschehen kann.

4*

§. 23.

Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in den leeren Raum.

Für die Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in den leeren Raum ist die Spannkraft der Flüssigkeit von bedeutender Wirkung. Deshalb ist die Untersuchung für nicht elastische Flüssigkeiten von der für elastische Flüssigkeiten unter gewissen Umständen zu trennen. Als allgemeine Grundlage aller dieser Untersuchungen kann der Ausfluss des Wassers aus einem Gefässe gelten.

Fig. 18 stelle ein mit Wasser angefülltes, oben offenes, am Boden mit einer Oeffnung versehenes Gefäss von der Höhe H vor.

Fig. 18.

Es werde angenommen, dass sich das Gefäss im leeren Raume befinde und dass die ausfliessende Wassermenge durch constanten Zufluss ersetzt werde. Alsdann wirkt an der untersten Fläche des Wassers an der Oeffnung von der Grösse a vertical abwärts ein Druck von der Grösse aHG, wobei G das Gewicht für die Volumeneinheit des Wassers bezeichnet.

Betrachtet man ein mit seiner untersten Grenze gerade am Rande der Oeffnung befindliches kleines Wassertheilchen, welches keineswegs von der Kleinheit eines Wassermoleküls angenommen zu werden braucht, so werden sich für dasselbe folgende Schlüsse bieten:

Ist dieses Wassertheilchen keinem anderen Einflusse, als nur seiner Anziehung zur Erde unterworfen, so wird dasselbe, dieser Anziehung folgend, durch die Oeffnung fallen und, nachdem es seine eigene Höhe h, welche allgemein als der $n$te Theil der Wasserhöhe, also gleich $\frac{1}{n} H$ angenommen werden kann, durchfallen hat, während es sich also mit seiner obersten Grenze am Rande der Oeffnung, sich selbst gerade unter der Oeffnung befindet, die Geschwindigkeit haben:

$$c = \sqrt{2gh} \text{ oder } \sqrt{2g\frac{1}{n}H}$$

das heisst: wenn das Wassertheilchen mit der durch den Fall durch seine eigene Höhe erlangten Geschwindigkeit sich nun gleichmässig fortbewegen würde, so würde es in einer Secunde den Weg $\sqrt{2g\frac{1}{n}H}$ zurücklegen.

Nun wirkt aber auf dieses Theilchen nicht nur seine eigene Anziehung zur Erde, sondern es wird auch die in allen $(n - 1)$ Wassertheilchen, welche in der Höhe H oder nh über demselben gelagert sind, wirkende Erdanziehung auf dasselbe fortgepflanzt. Die Wirkung auf dieses Wassertheilchen muss folglich dieselbe sein, als wenn diese n Kräfte in ihm vereinigt wirkten, oder die Anziehungskraft der Erde gegen dieses Theilchen, die beschleunigende Kraft n mal so gross, die Beschleunigung selbst also nicht nur g, sondern ng wäre. Demnach ist die Geschwindigkeit des betrachteten Wassertheilchens, nachdem es aus der Oeffnung geflossen:

$$c = \sqrt{2ngh} \text{ oder } \sqrt{2ng\frac{1}{n}H}$$

$$c = \sqrt{2gH}$$

Dieselbe theoretische Betrachtung, wie für dieses Theilchen, gilt für alle Wassertheilchen der ganzen horizontalen Schicht an der Oeffnung. Man erkennt daraus den Satz:

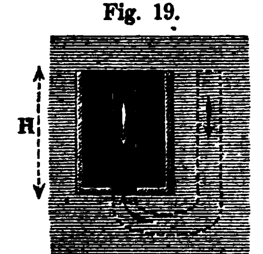
Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers oder einer anderen tropfbaren Flüssigkeit aus einem Gefässe durch eine Oeffnung am Boden desselben ist im leeren Raume dieselbe, welche ein Körper hat, der von einer der Druckhöhe der Flüssigkeit gleichen Höhe herabgefallen ist.

§. 24.

Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in ein specifisch leichteres Medium.

Um den Gang der Untersuchung anschaulicher zu machen, wird es zweckmässig sein, dieselbe an einen häufig vorkommenden speciellen Fall zu knüpfen, die ausfliessende Flüssigkeit als Wasser, das Medium als Luft anzunehmen (Fig. 19).

Fig. 19.



Ist das Gefäss, aus welchem der Ausfluss des Wassers geschieht, von Luft umgeben, so wirkt dem Wasserdruck an der Ausflussöffnung der Druck einer gleich hohen Luftsäule entgegen. Die über dem Wasserspiegel lastende Luft kann unbeachtet bleiben, weil ihr Druck durch einen gleichen Gegendruck aufgehoben ist. Die in jedem ausfliessenden Wassertheilchen concentrirte beschleu-

nigende Kraft muss also geringer sein als vorhin, wo der äussere Gegendruck nicht vorhanden war, und folglich muss auch die Beschleunigung geringer sein als ng, die Geschwindigkeit des Ausflusses selbst auch geringer als $\sqrt{2gH}$.

Der leicht einzusehende Satz, dass sich bei gleichen Gewichten oder Massen zweier Körper die Dichten oder specifischen Gewichte umgekehrt verhalten wie deren Räume, lässt sich auf eine ganz beliebige Grösse der Masse, also auch auf ein zu betrachtendes kleines Theilchen anwenden.

Da im gewöhnlichen Zustande das Wasser etwa 770mal so schwer ist, als ein gleiches Volumen Luft, so muss die Luft einen 770mal so grossen Raum einnehmen, als eine gleiche Gewichtsmenge oder eine gleiche Masse Wassers.

Ueber dem betrachteten Wassertheilchen am Rande der Oeffnung sollen sich in der Höhe H allgemein n Wassertheilchen befinden. In der gleichen räumlichen Ausdehnung, nämlich in einem gleichen äusseren Luftsäulchen, dessen Druck dem Ausflusse entgegenwirkt, können nur $\frac{n}{770}$ gleichschwere Lufttheilchen vorhanden sein, und wenn die in dem untersten Theilchen concentrirte Beschleunigung für die Masse des Wassersäulchens ng ist, so ist sie für die Masse des gleich grossen Luftsäulchens $\frac{n}{770}\,g$. Letztere Beschleunigungsgrösse wirkt an jedem untersten Wassertheilchen vertical aufwärts. Demzufolge bleibt die Beschleunigung eines ausfliessenden Wassertheilchens nicht ng, sondern sie wird vermindert auf die Grösse:

$$ng - \frac{n}{770}\,g = ng\left(1 - \frac{1}{770}\right) = ng\,\frac{769}{770}$$

Wenn man diesen Werth statt ng in die oben gefundene Gleichung $c = \sqrt{2\,ng\,\frac{1}{n}\,H}$ einsetzt, so erhält man als die Gleichung für die Geschwindigkeit des Wasserausflusses in der Luft:

$$c = \sqrt{2\,ng\,\frac{769}{770}\,\frac{1}{n}\,H} \text{ oder}$$

$$c = \sqrt{2\,g\,\frac{769}{770}\,H}$$

Nach §. 7 kann man auch setzen, wenn man die für das ausfliessende Wassertheilchen zu suchende Beschleunigung mit g_1 bezeichnet:

$$\text{Beschleunigung } g_1 = \frac{\text{Ueberdruck}}{\text{Gewicht der beschleunigten Masse}} \times g.$$

Bezeichnet man das Gewicht eines kleinen Wassertheilchens mit p, so ist das Gewicht eines eben so kleinen Lufttheilchens $\frac{p}{770}$, der Ueberdruck des Wassersäulchens von n Theilchen gegen das eben so grosse Luftsäulchen:

$$n\,p - \frac{n\,p}{770} = \left(1 - \frac{1}{770}\right) n\,p = \frac{769}{770}\, np$$

Als Gewicht der beschleunigten Masse ist nur beständig das ausfliessende Wassertheilchen anzunehmen, weil in dem reichlich weiten Gefässe die Theilchen der höheren Schichten nur langsam mit gleichförmiger Geschwindigkeit nachrücken.

Das Gewicht der beschleunigten Masse ist also nur p; folglich

$$g_1 = \left(\frac{769}{770}\, np : p\right) . g = \frac{769}{770}\, ng$$

Diese Beschleunigung anstatt g in die allgemeine Fallformel eingesetzt und zwar für die Fallhöhe $h = \frac{1}{n}\, H$, ergiebt

$$c = \sqrt{2 . \frac{769}{770}\, n g . \frac{1}{n}\, H}$$

$$c = \sqrt{2 g \frac{769}{770}\, H}$$

Es ist also die Ausflussgeschwindigkeit hier eben so gross, wie sie oben auf andere Weise gefunden wurde.

Im leeren Raume und in der Luft hat man für das Verhältniss der Ausflussgeschwindigkeiten des Wassers:

$$\sqrt{2\,g H} : \sqrt{2\,g\,\frac{769}{770}\, H} \text{ oder nahezu}$$

$$1 : 0{,}99935$$

Die Verminderung der Ausflussgeschwindigkeit durch den Gegendruck der Luft ist, wie man hieraus erkennt, sehr unbedeutend.

Man hat jedoch gefunden, dass in der Wirklichkeit die Ausflussmenge viel geringer ist als diejenige, welche sich nach der angegebenen Geschwindigkeitsgleichung mit Rücksicht auf die Grösse der Ausflussöffnung ergeben müsste.

Nennt man den Mittelwerth der wirklichen Ausflussgeschwindigkeit der ganzen Oeffnung c_1, so ist

$$c_1 = 0{,}63\, \sqrt{2\,g H}$$

Die Ursache dieser bedeutenden Verminderung liegt in dem Umstande, dass in Folge des allseitig fortgepflanzten Druckes die einzelnen flüssigen Theilchen sich gegen die Oeffnung hin zusammendrängen, eine Zusammenziehung, Contraction des flüssigen Strahls veranlassen. Der Minderwerth rührt also im Wesentlichen nicht von einer Verminderung der Geschwindigkeit her, sondern von einer Verkleinerung des wirklichen Ausflussquerschnitts; immerhin wird durch die seitliche Bewegung einer Anzahl von Lufttheilchen auch etwas an lebendiger Kraft und folglich an Geschwindigkeit verloren.

Die Zahl 0,63 nennt man den Contractions-Coëfficienten.

Durch Ansätze von gewisser Form an der Ausflussmündung kann man die Ausflussmenge und zugleich die Ausflussgeschwindigkeit, welche sich danach für die Mündung berechnet, bedeutend erhöhen.

Hierüber folgt Ausführliches bei Besprechung der Luftleitungen.

§. 25.

Allgemeinere Darstellung der Ausflussgeschwindigkeit.

In der oben gefundenen Gleichung für die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus einem von Luft umgebenen Gefässe, nämlich in der Gleichung $c = \sqrt{2g \frac{769}{770} H}$ entstand der Bruch $\frac{769}{770}$ aus der Differenz $1 - \frac{1}{770}$. Hierbei ist $\frac{1}{770}$ das Verhältniss des specifischen Gewichts des Mediums Luft zum specifischen Gewichte des ausfliessenden Körpers Wasser, auf dieselbe Einheit bezogen.

Bezeichnet man allgemein das specifische Gewicht des ausfliessenden Körpers mit s, das specifische Gewicht des Mediums mit s_1, so hat man bei Verfolgung der obigen speciellen Entwicklung statt des Verhältnisses $\frac{1}{770}$ nur zu setzen $\frac{s_1}{s}$. In der Formel der Geschwindigkeit des freien Falls ist sodann statt der ganzen Druckhöhe H der ausfliessenden Flüssigkeit zu setzen $H\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)$.

Die allgemeine Gleichung für die theoretische Ausflussgeschwindigkeit irgend einer Flüssigkeit mit Berücksichtigung des specifisch leichteren Mediums wird auf diese Weise:

$$c = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}.$$

Diesen Ausdruck kann man auch schreiben:

$$c = \sqrt{2\,g\left(H - \frac{s_1}{s}\,H\right)}.$$

Darin ist H die gegebene Höhe der dichtern Flüssigkeit und (nach §. 20) $\frac{s_1}{s}\,H$ der Werth für diejenige Höhe der dichtern Flüssigkeitssäule, welche der Säule der dünneren Flüssigkeit von der Höhe H das Gleichgewicht halten würde, oder auch der äussere Gegendruck, welcher den Ausfluss hindert, durch eine Säule, vom specifischen Gewichte der ausfliessenden Flüssigkeit ausgedrückt. Um demnach die theoretische Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in eine specifisch leichtere zu finden, ziehe man von der gegebenen Druckhöhe diejenige Höhe ab, welche erfordert wird, um dem äusseren Gegendruck das Gleichgewicht zu halten, und man erhält als Differenz die Höhe, welche in die Formel der Geschwindigkeit des freien Falls unmittelber eingesetzt werden kann.

§. 26.

Discussion der entwickelten Geschwindigkeitsgleichung.

In der Gleichung $c = \sqrt{2\,g\,H\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}$ ist s das specifische Gewicht der Flüssigkeit im Gefässe, s_1 das specifische Gewicht des Mediums.

Ist die Dichte des Mediums gegen die Dichte der Flüssigkeit im Gefässe so ausserordentlich gering, dass das Medium als unwägbare Materie angesehen werden kann, so wird auch die Geschwindigkeit die im leeren Raume sein. Man hat alsdann $1 - \frac{s_1}{s} = 1 - 0 = 1$ und $c = \sqrt{2\,g\,H}$.

So lange das Medium dünner ist, als die Flüssigkeit im Gefässe, also s_1 kleiner ist als s, ist auch $\frac{s_1}{s}$ kleiner als 1, folglich $1 - \frac{s_1}{s}$ positiv. Es erfolgt also jedenfalls der Ausfluss durch die Oeffnung.

Ist das Medium mit der Flüssigkeit im Gefässe von gleicher Dichte, also $s_1 = s$, so ist auch $\frac{s_1}{s} = 1$ und $1 - \frac{s_1}{s} = 0$, folglich $c = 0$. Die Geschwindigkeit des Ausflusses ist Null, die Flüssigkeit kommt nicht zum Ausflusse.

Ist das Medium dichter, als die Flüssigkeit im Gefässe, also s_1 grösser als s, so ist $\frac{s_1}{s}$ grösser als 1, also $1 - \frac{s_1}{s}$ eine negative Zahl.

Somit wird der Ausdruck unter dem Wurzelzeichen negativ, der Werth für die Geschwindigkeit ist imaginär, das heisst: die Flüssigkeit kann an der angenommenen Stelle nicht zum Ausflusse gelangen, aber auch nicht daselbst in Ruhe bleiben. Man kann nun das negative Vorzeichen für die entgegengesetzte Richtung der Bewegung nehmen und $-g$ anstatt g setzen, um anzudeuten, dass nun für das betrachtete Theilchen der Flüssigkeit an der Oeffnung eine Kraft resultirt, welche gerade die entgegengesetzte Richtung hat, wie die Anziehungskraft der Erde. Alsdann hat man

$$c = \sqrt{2\,(-g)\,H\left(\frac{s_1}{s} - 1\right)}$$

wobei der Zahlenwerth für $-g$ derselbe ist wie früher für g. Jedes an der Mündung befindliche Theilchen der specifisch leichteren Flüssigkeit im Gefässe wird sich mit der durch die letzte Gleichung gegebenen Geschwindigkeit vertical aufwärts, von der Oeffnung hinweg bewegen. Zugleich muss die äussere Flüssigkeit von unten in das Gefäss eindringen. Das wirkliche Zustandekommen dieses Vorganges ist aber durch andere Gestaltung oder Lage des Gefässes bedingt; ausserdem fliesst die äussere specifisch schwerere Flüssigkeit in grösserer Menge auch von oben in das Gefäss und verdrängt schon auf diese Weise die leichtere Flüssigkeit aus demselben.

§. 27.

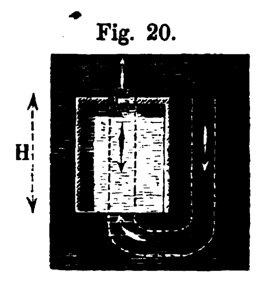
Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in ein specifisch schwereres Medium.

Es sei in einem unten offenen, an der Decke mit einer Oeffnung versehenen Gefässe eine Flüssigkeit enthalten, das Gefäss aber von einer dichteren Flüssigkeit umgeben (Fig. 20).

Man sieht sogleich ein, dass die specifisch leichtere Flüssigkeit im Gefässe durch das specifisch schwerere Medium gehoben und durch die Oeffnung an der Decke verdrängt werden muss. Die Geschwindigkeit soll nun auch unter diesen Verhältnissen für eine bestimmte Höhe der Flüssigkeit im Gefässe gesucht werden. Die über dem Gefässe stehende Flüssigkeit bleibt unbeachtet, weil ihr Druck sowohl für, wie gegen

die Bewegung wirkt. Das vollständig mit der dünneren Flüssigkeit angefüllte Gefäss habe die Höhe H; ferner sei, wie vorhin, s das specifische Gewicht der dichteren Flüssigkeit, die aber nun das Medium bildet, s_1 das specifische Gewicht der dünneren, nun inneren Flüssigkeit, und es verhalte sich

Fig. 20.



$$s : s_1 = m : n.$$

Nimmt man an, dass in einem schmalen Säulchen, dessen Höhe H und dessen Querschnitt der Querschnitt eines betrachteten Theilchens von der specifisch leichteren Flüssigkeit im Gefässe ist, n Theilchen dieser Flüssigkeit enthalten seien, so enthält ein gleich grosses Säulchen der äusseren, specifisch schwereren Flüssigkeit eine grössere Anzahl, nämlich m eben so schwere Theilchen, die natürlich kleiner sind.

Auf ein mit seiner obersten Grenze an dem äussersten Rande der Oeffnung stehendes Theilchen der specifisch leichteren Flüssigkeit im Gefässe wirken mehrere Kräfte:

Vertical abwärts zieht nur des Theilchens eigene Schwere, deren Wirkung, wenn nicht noch andere Kräfte vorhanden wären, sich in der Beschleunigung g äussern würde.

Vertical aufwärts wirkt der fortgepflanzte Druck einer äusseren Flüssigkeitssäule von der Höhe H oder der Säule von m Theilchen, vermindert um den Gegendruck einer inneren Flüssigkeitssäule, welche aus $(n - 1)$ Theilchen besteht, indem von den n Theilchen in der Höhe H das oberste für sich betrachtet ist.

Die aufwärts gerichtete Wirkung auf das betrachtete Theilchen an der Oeffnung ist in Rücksicht auf diese beiden Säulen:

$$mg - (n - 1)\,g.$$

Die Resultirende, in dem betrachteten Theilchen nach oben gerichtet, wird nun:

$$R = mg - (n - 1)\,g - g = mg - ng.$$

Aus der obigen Proportion ist

$$m = n\,\frac{s}{s_1};$$

somit ist auch

$$R = n\,\frac{s}{s_1}\,g - n\,g = ng\left(\frac{s}{s_1} - 1\right).$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher das betrachtete Theilchen sich

bewegen muss, wenn es gerade um seine eigene Höhe $\frac{1}{n} H$ gehoben worden ist, sich also gerade über dem Rande der Oeffnung befindet, ist nun, da $n g \left(\frac{s}{s_1} - 1\right)$ die Grösse der nun aufwärts wirkenden Beschleunigung bezeichnet:

$$c = \sqrt{2 n g \left(\frac{s}{s_1} - 1\right) \frac{1}{n} H}$$

oder

$$c = \sqrt{2 g H \left(\frac{s}{s_1} - 1\right)}$$

Dieses ist die allgemeine Gleichung für die theoretische Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in ein specifisch schwereres Medium.

Vorstehende Gleichung lässt sich auch schreiben:

$$c = \sqrt{2 g \left(\frac{s}{s_1} H - H\right)}$$

darin ist H die Höhe der Flüssigkeit im Gefässe, und $\frac{s}{s_1} H$ die Höhe einer Säule derselben Flüssigkeit, welche dem äusseren Drucke das Gleichgewicht halten würde.

Um also die Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in ein specifisch schwereres Medium zu bestimmen, suche man nach §. 20 die Höhe einer Säule der specifisch leichteren Flüssigkeit, welche der drückenden Säule der schwereren Flüssigkeit das Gleichgewicht hält, und subtrahire davon die Höhe der leichteren Flüssigkeit. Diese Differenz ist die in die Formel des freien Falls einzusetzende Höhe.

§. 28.

Allgemeine Regel zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in eine andere.

Wenngleich in besonderen Fällen nach den oben entwickelten Formeln die Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in ein specifisch leichteres oder schwereres Medium auf kurze und einfache Weise berechnet werden kann, nachdem man nur die speciellen Werthe in die betreffende Formel eingesetzt hat, so ist es doch, um Verwechselungen vorzubeugen und dem Gedächtnisse zu Hülfe zu kommen, immerhin zweckmässig, bestimmte Regeln festzuhalten; um so mehr, wenn solche

in Worte eingekleidet werden können, welche eine bildliche Anschauung gewähren. Am Schlusse von §. 25 und §. 27 sind für die mit den vorausgehenden Untersuchungen analogen Fälle solche Regeln angegeben. Beide können für jede gegebene Druckhöhe in folgender einfachen, allgemeinen Regel zusammengefasst werden:

Um die Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in eine andere zu finden, drücke man die Grösse des Drucks derjenigen Flüssigkeit, in welche der Ausfluss geschieht, durch eine Säule vom specifischen Gewichte der ausfliessenden Flüssigkeit aus. Die Differenz zwischen der Höhe dieser Säule und der gegebenen Druckhöhe ist statt der Höhe H in die Formel $\sqrt{2gH}$ einzusetzen.

Anmerkung. Ueber die Ausflussgeschwindigkeit elastisch flüssiger Körper unter verschiedenen Spannungsverhältnissen folgen weitere Untersuchungen bei den späteren Abhandlungen über Luftverdünnung. Wo die Spannungen beiderseits die gleichen sind und bleiben, oder doch als unveränderlich angesehen werden dürfen, finden die obigen Darstellungen unmittelbar Anwendung.

§. 29.

Verhältniss der Geschwindigkeiten bei verschiedenen Druckhöhen.

Im leeren Raume ist die theoretische Ausflussgeschwindigkeit, wenn die Druckhöhe der Flüssigkeit H ist, nach §. 23:

$$c = \sqrt{2gH}$$

Für dieselbe Flüssigkeit ergiebt sich bei anderer Druckhöhe H_1 auch eine andere Geschwindigkeit, nämlich:

$$c_1 = \sqrt{2gH_1}$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man die Proportion:

$$c : c_1 = \sqrt{2gH} : \sqrt{2gH_1} \text{ oder}$$

$$c : c_1 = \sqrt{H} : \sqrt{H_1}$$

Dieselbe Proportion ergiebt sich auch, wenn man die Gleichung für die theoretische Geschwindigkeit des Ausflusses in ein specifisch leichteres oder schwereres Medium zu Grunde legt, und auch dann, wenn man den Contractionscoëfficienten berücksichtigt.

Bei verschiedenen Druckhöhen verhalten sich also die Ausflussgeschwindigkeiten einer Flüssigkeit wie die Quadratwurzeln der Druckhöhen. Dabei ist vorausgesetzt, dass der Ausfluss unter sonst gleichen Umständen geschieht.

§. 30.

Ausflussmenge und Ausflussöffnung.

Bewegt sich eine Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit c Meter in der Secunde durch eine Oeffnung von der Grösse a Quadratmeter, so ist die in der Secunde hindurchgeflossene Menge gleich einem Prisma, welches zur Grundfläche die Grösse a der Oeffnung und zur Höhe oder Länge die Geschwindigkeit c hat. Die Ausflussmenge ist also, wenn man sie mit M bezeichnet:

$$M = ac \text{ Cubikmeter.}$$

Sucht man die nöthige Grösse a der Oeffnung, wenn bei einer bestimmten Geschwindigkeit c Meter die bestimmte Menge M Cubikmeter in der Secunde ausfliessen soll, so hat man:

$$a = \frac{M}{c} \text{ Quadratmeter.}$$

§. 31.

Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit.

Die der mittleren Ausflussgeschwindigkeit entsprechende Druckhöhe fällt bei einer verticalen Oeffnung nicht mit der Tiefe des Druckmittelpunkts und auch nicht mit der mittleren Druckhöhe zusammen.

Es sei (Fig. 21) ein beständig mit Wasser gefüllt erhaltenes Gefäss mit einer rechteckigen, bis an den Wasserspiegel reichenden Ausflussöffnung versehen. Die Ausflussgeschwindigkeit, welche sich für jede Höhe nach der Gleichung

Fig. 21.

$$v = \sqrt{2gh}$$

berechnen lässt, nimmt in der Weise mit der Tiefe zu, wie in der Figur durch die horizontalen Pfeile angedeutet ist. Die Pfeilspitzen liegen in einer Parabel, deren Gleichung ist

$$v^2 = 2gh.$$

Die durch den Parabelbogen begrenzte Fläche ist ausgedrückt durch

$$\frac{2}{3} H v_n = \frac{2}{3} H \sqrt{2gH}$$

Wird diese Fläche mit der Breite B der Oeffnung multiplicirt, so erhält man den Werth der secundlichen Ausflussmenge M, also

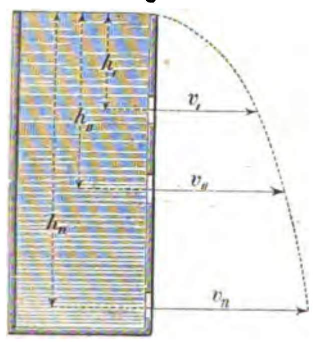
$$M = \frac{2}{3} H \sqrt{2gH} \, . \, B$$

$$= BH \sqrt{2g \left(\frac{4}{9}\right) H}$$

Die Ausflussmenge ist also die gleiche, als wenn alle Wassertheilchen in der Oeffnung von der Breite B und der Höhe H unter der Druckhöhe $\frac{4}{9} H$ zum Ausfluss gelangen würden, das heisst: $\frac{4}{9} H$ ist die der mittleren Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe.

Fig. 22.

Fig. 23.



Liegt die Ausflussöffnung in bedeutender Tiefe unter dem Wasserspiegel (Fig. 22), so liegt zwar der Punkt für die Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit immer noch über der Mitte der rechteckigen Oeffnung, aber so **wenig höher**, dass man die Entfernung der Mitte der Oeffnung vom Wasserspiegel als die Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit annehmen kann. Dieses ist aus der Figur dadurch zu erkennen, dass für den betreffenden Theil des Parabelbogens die Sehne fast genau mit dem Bogen zusammenfällt, nämlich der verhältnissmässig kleine Bogentheil selbst fast eine gerade Linie ist.

Sind mehrere, allgemein n gleiche Ausflussöffnungen in verschiedenen Tiefen vorhanden (Fig. 23), so ist die der mittleren Geschwindigkeit entsprechende Druckhöhe keineswegs das arithmetische Mittel der vorhandenen Druckhöhen.

Die einzelnen Ausflussgeschwindigkeiten sind:

$$v_{,} = \sqrt{2gh_{,}}$$
$$v_{,,} = \sqrt{2gh_{,,}}$$
$$\vdots \qquad \vdots$$
$$v_n = \sqrt{2gh_n}$$

und die mittlere Ausflussgeschwindigkeit, bezeichnet v_m, ist:

$$v_m = \frac{v_, + v_{,,} + \ldots v_n}{n},$$

oder wenn h_m die der mittleren Ausflussgeschwindigkeit entsprechende Druckhöhe bedeutet:

$$\sqrt{2gh_m} = \frac{\sqrt{2gh_,} + \sqrt{2gh_{,,}} + \ldots \sqrt{2gh_n}}{n}$$

$$\sqrt{h_m} = \frac{\sqrt{h_,} + \sqrt{h_{,,}} + \ldots \sqrt{h_n}}{n}$$

$$h_m = \left(\frac{\sqrt{h_,} + \sqrt{h_{,,}} + \ldots \sqrt{h_n}}{n}\right)^2$$

Das heisst: Die Druckhöhe, welche der mittleren Geschwindigkeit entspricht, ist das Quadrat des arithmetischen Mittels aus den Wurzeln der verschiedenen Druckhöhen; oder nach der vorletzten Gleichung gelesen:

Die Wurzel der Druckhöhe für die mittlere Geschwindigkeit ist das arithmetische Mittel aus den Wurzeln der verschiedenen Druckhöhen.

§. 32.

Gleichgewicht und Bewegung von Flüssigkeiten in Heberröhren.

Eine umgebogene, an beiden Enden offene Röhre, mittelst welcher eine Flüssigkeit in bestimmter Richtung, erst ansteigend, dann sinkend, oder umgekehrt aus einem Gefässe abgeleitet, dabei also in einem Röhrentheile gehoben werden kann, nennt man Heberröhre oder kurzweg Heber; die beiden geraden Röhrenstücke heissen Heberschenkel.

Für das Gleichgewicht und die Bewegung einer Flüssigkeit in einer solchen gekrümmten Röhre müssen die bereits entwickelten Gesetze gelten, namentlich die der communicirenden Gefässe; die beiden Heberschenkel sind communicirende Röhren oder Gefässe, welche durch das gekrümmte Röhrenstück verbunden sind.

Bei den Untersuchungen über communicirende Gefässe wurde auf die den Apparat umgebende Flüssigkeit nicht Rücksicht genommen.

Es sollen nun die communicirenden Röhren oder Heber mit Rücksicht auf das Medium betrachtet werden.

Die Röhren werden von solcher Weite vorausgesetzt, dass die Capillarattraction keinen störenden Einfluss ausübt.

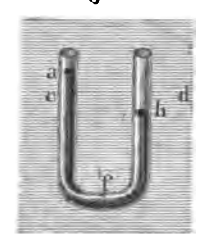
Unter der Annahme unveränderlicher Spannungen können die Flüssigkeiten einerseits oder beiderseits auch luftförmig sein.

§. 33.

Der Heber mit dichterer Flüssigkeit im specifisch leichteren Medium.

Die gekrümmte Röhre (Fig. 24) enthalte eine Flüssigkeit, die specifisch schwerer ist als das Medium. Steht diese Flüssigkeit in beiden Schenkeln nicht gleich hoch, in dem einen Schenkel z. B. bis *a*, in dem anderen bis *b*, so muss dieselbe in dem ersten Schenkel sinken, in dem anderen gehoben werden, bis beide Oberflächen in einer Horizontalen *cd* liegen, weil nur dann der Gesammtdruck der äusseren und inneren Flüssigkeit auf beiden Seiten gegen irgend einen Querschnitt der Flüssigkeit in der Röhre, etwa in *f*, gleich gross ist.

Fig. 24.



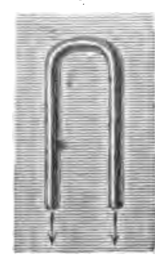
Ist der eine Schenkel länger als der andere, und der längere auch vollkommen mit der specifisch schwereren Flüssigkeit gefüllt (Fig. 25), so muss aus demselben Grunde die Flüssigkeit im längeren Schenkel sinken und aus dem kürzeren ausfliessen, bis dieselbe im längeren Schenkel ebenso hoch steht, wie im kürzeren.

Ist die gekrümmte Röhre mit beiden offenen Enden nach unten gekehrt, und mit der specifisch schwereren Flüssigkeit gefüllt (Fig. 26), so kann die Flüssigkeit darin nur in Ruhe bleiben, wenn folgende drei Bedingungen erfüllt sind:

Fig. 25.



Fig. 26.



1) Die Röhre muss sich wenigstens in einer so grossen Tiefe unter dem Spiegel der specifisch leichteren Flüssigkeit befinden, dass durch den Druck dieser letzteren die specifisch schwerere Flüssigkeitssäule von der Höhe der Röhre getragen wird, mit anderen Worten, dass an den Oeffnungen der Röhre, den gegenseitigen Begrenzungsflächen beider Flüssigkeiten, der Druck der äusseren specifisch leichteren Flüssigkeit wenigstens ebenso gross ist, wie der entgegengesetzte Druck der specifisch schwereren Flüssigkeit in der Röhre.

2) Die gegenseitigen Begrenzungsflächen beider Flüssigkeiten müssen in beiden Schenkeln in gleicher Tiefe unter dem Spiegel der äusseren

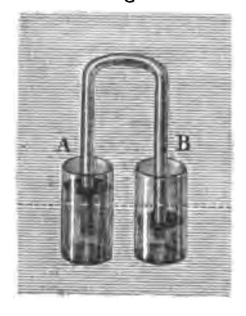
Flüssigkeit stehen, damit die sich entgegengesetzten Resultirenden in beiden Schenkeln gleich sind.

3) Jede dieser beiden Begrenzungsflächen muss eine genau horizontale Ebene bilden, damit in jedem einzelnen Schenkel Gleichgewicht vorhanden sei.

Diese letzte Bedingung kann bei der grössten Vorsicht in der Wirklichkeit auch nicht für kurze Dauer erfüllt werden. Die geringste Bewegung veranlasst eine Verschiebung der Theilchen an der gegenseitigen Begrenzungsfläche, stört die Horizontalität derselben, so dass in Folge des entstehenden Seitendrucks einige Theilchen der Flüssigkeit ausfliessen; diese Bewegung veranlasst noch grössere Störung des Gleichgewichts, und diese Störung muss unter gleichen Umständen in beiden Schenkeln zugleich eintreten. Die specifisch schwerere Flüssigkeit wird also vollständig und aus beiden Oeffnungen zugleich ausfliessen.

Bringt man die beiden Oeffnungen der gekrümmten Röhre unter die Oberflächen der specifisch schwereren Flüssigkeit, mit welcher sowohl die Röhre als auch theilweise zwei beliebige oben offene Gefässe gefüllt sind (Fig. 27), so tritt für die drei Bedingungen des Gleichgewichts in Beziehung auf den vorigen Fall nur die Aenderung ein, dass sich die gegenseitigen Begrenzungsflächen nicht in der unten offenen Röhre, sondern in den oben offenen Gefässen befinden. Nun aber können die drei Bedingungen leicht erfüllt sein.

Fig. 27.



Ist der äussere Druck hinlänglich gross, und steht die gegenseitige Begrenzungsfläche, die nun in jedem Gefässe von selbst eine horizontale Ebene bildet, in dem einen Gefässe A höher als im anderen B, so ist auch die aufwärts gerichtete Resultirende oder Summe der Drücke im Schenkel A grösser als die im Schenkel B, die Flüssigkeit muss im Gefäss A sinken, einen Theil durch die Röhre nach dem Gefäss B verdrängen, bis auf beiden Seiten die gegenseitige Begrenzungsfläche in einer und derselben Horizontalebene liegt.

Steht die Begrenzungsfläche beider Flüssigkeiten in dem einen Schenkel tiefer, so ist, wie aus Obigem hervorgeht, die abwärts fortgepflanzte Kraft in diesem Schenkel überwiegend. Der Fall ist derselbe, wenn der eine Schenkel länger ist als der andere, beide aber abwärts gerichtet und vollständig mit der specifisch

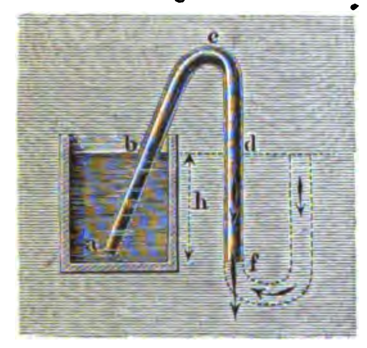
schwereren Flüssigkeit gefüllt sind (Fig. 28). Die Flüssigkeit müsste vollständig durch den längeren Schenkel ausfliessen, wenn die Richtung des Drucks der äusseren Flüssigkeit in allen Punkten der gemeinsamen Begrenzungsfläche im kürzeren Schenkel genau vertical, diese Begrenzungsfläche selbst also eine horizontale Ebene bliebe. Da dieses in Wirklichkeit nicht zu erreichen ist, so wird auch ein Theil der specifisch schwereren Flüssigkeit aus dem kürzeren Schenkel ausfliessen.

Fig. 28.



Befindet sich der eine Schenkel des mit der specifisch schwereren Flüssigkeit gefüllten Hebers *acf* (Fig. 29) theilweise in einem oben offenen Gefäss, welches die gleiche specifisch schwerere Flüssigkeit enthält, so ist die Bedingung der Horizontalität in der höher liegenden gemeinsamen Begrenzungsfläche erfüllt, und keine Ursache vorhanden, weshalb ein Theil der im Heber befindlichen Flüssigkeit in dem Theile *cb* des Hebers, den man nun als kürzeren Heberschenkel betrachten kann, zurückfliessen sollte. Aber in irgend einem Querschnitte des Hebers, etwa in *c*, ist der fortgepflanzte Druck von *a* her grösser als von *f* her. Dem überwiegenden Drucke folgend, wird die Flüssigkeit durch den Heber aus dem Gefässe ausfliessen, und zwar ist, wenn sich die Heberöffnung *f* in der Höhe des Gefässbodens befindet, die theoretische Ausflussgeschwindigkeit dieselbe, als wenn die Flüssigkeit unmittelbar durch eine Oeffnung am Boden des Gefässes ausfliessen würde. Man erkennt dieses leicht durch folgende Ueberlegung:

Fig. 29.



Die Flüssigkeit im Gefässe selbst, sowie in dem Röhrentheile *abcd* hat unmittelbar keinen Einfluss auf die Störung des Gleichgewichts; man dürfte das Röhrenstück *df* hinwegnehmen, es würde alsdann Gleichgewicht vorhanden sein, wenn die gegenseitige Begrenzungsfläche beider Flüssigkeiten in *d* genau in die Erweiterung der Begrenzungsfläche im Gefässe fiele. Der Druck für die Flächeneinheit ist in beiden Flächen genau gleich gross, und es müsste nur vorausgesetzt werden, dass dieser Druck, so weit er von der Schwere der specifisch leichteren Flüssigkeit

herrührt, gross genug wäre, um eine Säule der specifisch schwereren Flüssigkeit von der Höhe dc zu tragen, und dass Störungen der Horizontalität vermieden würden, weil sonst die schwerere Flüssigkeit bei d ausfliessen, dann auch die zwischen c in b und das Gefäss hinabfliessen müsste. Es ist folglich nur die Flüssigkeitssäule df übrig, welche noch in Rücksicht auf das Gleichgewicht zu betrachten ist. Diese Säule ist mit einer gleich hohen Säule der äusseren specifisch leichteren Flüssigkeit nicht im Gleichgewicht. Der abwärtsgerichtete Druck in f, von der Säule df ausgeübt und auf die Flächeneinheit bezogen, ist Gh, der zu berücksichtigende entgegengesetzte Druck aber $G_1 h$, wenn man mit G das Gewicht für die Volumeneinheit der inneren Flüssigkeit, mit G_1 das der äusseren, mit h die Höhe df oder die Höhe der Flüssigkeit im Gefässe bezeichnet. Da Gh jedenfalls grösser ist als $G_1 h$, so muss die Flüssigkeit bei f ausfliessen. Während aber dieses geschieht, und die Flüssigkeit im Gefässe bei b sinkt, bleibt doch, so lange sich noch schwerere Flüssigkeit über a befindet, der fortgepflanzte Druck in der Richtung von a nach c grösser als in der entgegengesetzten Richtung von f nach c, und dieser Ueberdruck bewirkt ein beständiges Nachfliessen neuer Flüssigkeitstheilchen aus dem Gefässe in den Heber, bis endlich die specifisch leichtere Flüssigkeit bei a in die Röhre gelangen kann.

Bleibt aber während des Ausfliessens durch den Heber das Gefäss durch anderseitigen Zufluss beständig in gleicher Höhe h gefüllt erhalten, so hat man für die Berechnung der Ausflussgeschwindigkeit den Fall, dass unter der Druckhöhe h eine Flüssigkeit in ein specifisch leichteres Medium ausfliesst. Die Gleichung für diesen Fall ist nach §. 25:

$$c = \sqrt{2gh\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}$$

wobei, wie man leicht einsieht, auch $\frac{G_1}{G}$ statt $\frac{s_1}{s}$ gesetzt werden kann.

Die theoretische Geschwindigkeit des Ausflusses müsste nach derselben, oder nach einer identischen Gleichung bestimmt werden, wenn die Ausflussöffnung sich unmittelbar am Boden des Gefässes befände; in beiden Fällen erhält man demnach denselben Werth für die Ausflussgeschwindigkeit.

Die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit ist aber bei dem Heber in Folge der Contraction und Reibung geringer. Ueber diese Widerstände folgt an geeigneten Stellen Ausführliches.

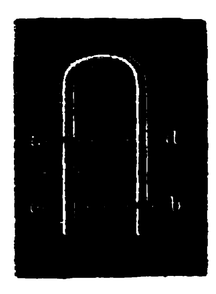
§. 34.

Der Heber mit specifisch leichterer Flüssigkeit im dichteren Medium.

Die Mündungen einer gekrümmten Röhre mit gleich langen Schenkeln seien nach unten gekehrt. Ist die Röhre ganz oder theilweise mit einer Flüssigkeit gefüllt, welche specifisch leichter ist als die Flüssigkeit ausserhalb der Röhre, so kann in keinem Falle die specifisch leichtere Flüssigkeit aus der Röhre ausfliessen; denn an jeder der beiden Mündungen oder gegenseitigen Begrenzungsflächen ist der von der äusseren, specifisch schwereren Flüssigkeit ausgeübte Druck nach oben grösser, als der an derselben Fläche durch die Flüssigkeit im Röhrenschenkel ausgeübte Druck nach unten.

Steht in dem einen Schenkel (Fig. 30) die gegenseitige Begrenzungsfläche beider Flüssigkeiten höher, z. B. in a, auf der anderen Seite in b, so kann die Flüssigkeit in der Röhre nicht im Gleichgewichte sein. Man kann diejenigen Theile, in welchen sich die Wirkungen gegenseitig aufheben müssen, ausser Acht lassen, und hat demnach nur die beiden Theile zwischen den durch a und b gedachten Horizontalen zu betrachten. Auf der einen Seite drückt daselbst das schwerere Säulchen ac herab, auf der anderen Seite das leichtere Säulchen db; der nach oben fortgepflanzte äussere Druck ist in c ebenso gross wie in b. In b wird ein geringerer Theil des äusseren Drucks aufgehoben als in c; die nach oben gerichtete Resultirende, als Theil des äusseren Drucks, ist demnach im Schenkel b grösser als im Schenkel a, die äussere Flüssigkeit dringt folglich bei b weiter ein, verdrängt einen Theil der in diesem Schenkel vorhandenen specifisch leichteren Flüssigkeit nach dem anderen Schenkel, bis die gemeinsamen Begrenzungsflächen beider Flüssigkeiten in beiden Schenkeln in einer horizontalen Ebene liegen.

Fig 30.



Es sei nun der eine Schenkel der mit den offenen Enden nach unten gekehrten, mit der specifisch leichteren Flüssigkeit gefüllten Röhre kürzer (Fig. 31). Die Flüssigkeit in abc ist für sich im Gleichgewichte, die geringste

Fig. 31.



Kraft reicht aber hin, eine Bewegung hervorzubringen. Dieses geschieht nun sehr leicht dadurch, dass die specifisch leichtere Flüssigkeit in *cd*, da dieselbe den gleichen Druck nach unten in *d* nicht ausüben kann, wie eine ebenso hohe Säule der äusseren Flüssigkeit, von dieser emporgehoben wird. Auf diese Weise muss die specifisch schwerere Flüssigkeit in dem längeren Schenkel emporfliessen, bis dieselbe in gleicher Höhe mit der Mündung des kürzeren Schenkels steht, während ebenso lange die specifisch leichtere Flüssigkeit durch die Mündung *a* verdrängt wird.

Ist die mit der specifisch leichteren Flüssigkeit gefüllte Röhre mit beiden Mündungen nach oben gerichtet (Fig. 32), so kann die Flüssigkeit darin nur in Ruhe bleiben, wenn sämmtliche Punkte der gemeinsamen Begrenzungsflächen auf beiden Seiten in einer und derselben Horizontalebene liegen. Dieser Anforderung kann in der Wirklichkeit nicht genügt werden; die geringste Bewegung veranlasst, dass in beide Mündungen zugleich die specifisch schwerere Flüssigkeit eindringt und die leichtere verdrängt.

Fig. 32.



Münden die beiden Schenkel in unten offene Gefässe, welche ganz oder theilweise mit beiden Flüssigkeiten angefüllt sind (Fig. 33), so verlangt das Gleichgewicht gleiche Tiefe und Horizontalität der beiden gemeinsamen Begrenzungsflächen in den Gefässen, und dieser Zustand gestaltet sich hiebei, eben nach den Gesetzen des Gleichgewichts, von selbst. Die beiden gemeinsamen Flächen *a* und *b* der Flüssigkeiten sind horizontale Ebenen und wenn eine dieser Ebenen tiefer steht, indem das Gefäss mit einer grösseren Menge der specifisch leichteren Flüssigkeit gefüllt wurde, so ist der aufwärtswirkende Druck für die Flächeneinheit an dieser Ebene grösser, als auf der anderen Seite; in Folge dessen wird eine so grosse Menge der specifisch leichteren Flüssigkeit durch die Röhre nach dem anderen Gefässe verdrängt, dass die beiden Begrenzungsebenen in gleiche Höhe gelangen.

Fig. 33.



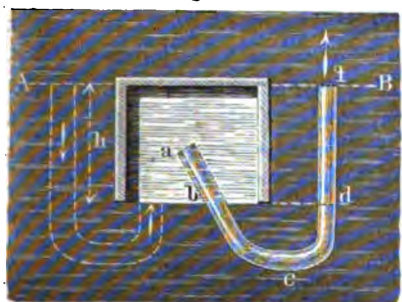
Ist der eine Schenkel einer mit der specifisch leichteren Flüssigkeit gefüllten, mit den Mündungen nach oben gerichteten gekrümmten Röhre kürzer, so ist der abwärts wirkende Druck an der Mündung des kürzeren Schenkels grösser, als in gleicher Höhe im längeren Schenkel (Fig. 34). Die specifisch schwerere Flüssigkeit muss folglich in den kürzeren Schenkel einfliessen und die gesammte specifisch leichtere Flüssigkeit durch den längeren Schenkel verdrängen. Dabei wird es sich jedoch wegen der leichten Störung der Horizontalität namentlich bei sehr weiten Röhren leicht ereignen, dass auf beiden Seiten zugleich die schwerere Flüssigkeit eindringt und auch aus der Mündung des kürzeren Schenkels ein Theil der leichteren Flüssigkeit entweicht.

Fig. 34.



Ein Schenkel einer mit der specifisch leichteren Flüssigkeit gefüllten, mit den Enden aufwärts gerichteten Heberröhre münde in ein unten offenes mit der specifisch leichteren Flüssigkeit gefülltes Gefäss (Fig. 35). Unter diesen Umständen wird die Flüssigkeit aus dem Gefässe durch den Heber entweichen und zwar, theoretisch betrachtet, mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher sie durch eine Oeffnung an der Decke des Gefässes entweichen würde. Man wird auf diesen Schluss durch folgende Ueberlegung geführt:

Fig. 35.



Wäre der äussere Theil des Hebers über der Höhe der gemeinsamen Begrenzungsfläche im Gefässe, nämlich der Theil df nicht vorhanden, so würde auch jede Ursache fehlen, weshalb in diesem Falle die Flüssigkeit sich nach irgend einer Seite bewegen sollte, Erhaltung der Horizontalität in d vorausgesetzt.

In der Begrenzungsfläche bei d wäre für die Flächeneinheit derselbe Druck vorhanden, wie in der Begrenzungsfläche im Gefässe. Nur die specifisch leichtere Säule df ist es, welche diese Gleichheit des Druckes stört. Die Flüssigkeit über der Horizontalen AB kann unberücksichtigt bleiben, weil ihr Druck ebenso für, wie gegen das Aus-

fliessen wirkt. Der in der Flächeneinheit der Grenzfläche beider Flüssigkeiten im Gefässe aufwärtswirkende Druck ist, insofern es von der Schwere der äusseren Flüssigkeit (unter AB) herrührt, deren Gewicht für die Volumeneinheit G sein soll: Gh. Dieser Druck, vermindert um den Druck einer inneren, specifisch leichteren Flüssigkeitssäule, deren Höhe h und deren Querschnitt die Flächeneinheit ist, deren Gewicht für die Volumeneinheit G_1 sein soll, pflanzt sich im ganzen Gefässe fort. Der fortgepflanzte Theil des äusseren Druckes ist also die Differenz $Gh - G_1 h$.

Die Verminderung des Druckes verschwindet wegen der Schwere der Flüssigkeit im Gefässe mit zunehmender Tiefe immer mehr, so dass der abwärtswirkende Druck in b und ebenso der aufwärtswirkende in d wieder $Gh - G_1 h + G_1 h$ oder Gh, das heisst, der vollständige äussere Druck ist. Als entgegengesetzt wirkender Druck kommt aber nur der Druck der specifisch leichteren Flüssigkeit in der Röhre df zur Beachtung, und dieser ist für die Flächeneinheit $G_1 h$. Die Resultirende des Druckes für alle Theilchen im Heber acf hat den Werth $Gh - G_1 h$ und dieser Ueberdruck veranlasst den Ausfluss der Flüssigkeit aus dem Gefäss durch denselben.

Die theoretische Ausflussgeschwindigkeit einer specifisch leichteren Flüssigkeit, welche bis zu der Tiefe h unter der Ausflussöffnung sich befindet, in ein specifisch schwereres Medium ist nach §. 27:

$$c = \sqrt{2gh\left(\frac{s_1}{s} - 1\right)} \text{ oder auch } \sqrt{2gh\left(\frac{G_1}{G} - 1\right)}$$

Diesem Ausdrucke liegt für die Flächeneinheit der Werth $Gh - G_1 h$ als Werth der Resultirenden zu Grunde, welche die Bewegung veranlasst. Da dieses, wie früher, so auch in der letzten Untersuchung der Fall war, so erkennt man, dass die theoretische Ausflussgeschwindigkeit im vorliegenden Fall dieselbe ist, als wenn die specifisch leichtere Flüssigkeit direct an der Decke des Gefässes ausfliessen könnte.

Für die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit muss die Verminderung durch Contraction und Reibung in später zu besprechender Weise berücksichtigt werden.

§. 35.

Besondere Erscheinungen bei gekrümmten Röhren.

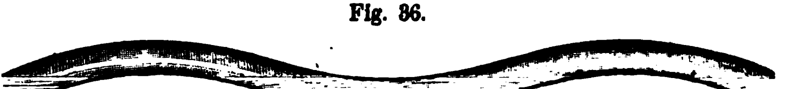
Bei Röhrenleitungen für tropfbar flüssige wie für luftförmige Flüssigkeiten, so bei Wasser-, Luft-, Dampf-, Gasleitungen, kommen zu-

weilen Störungen vor, deren Ursachen sich nicht immer sofort und leicht erkennen und noch weniger leicht beseitigen lassen, wenn man auch Grund hat zu vermuthen, dass die Leitung fehlerhaft ausgeführt, dass namentlich auf Vermeidung von Krümmungen zu wenig Sorgfalt verwendet worden ist.

Krümmungen in Leitungen sind in Bezug auf das Durchflussquantum immer nachtheilig; allein bei seitlichen Krümmungen in horizontalen, steigenden oder fallenden Leitungen entsteht nur eine verhältnissmässig geringe Verminderung der Durchflussgeschwindigkeit durch vergrösserte Reibung und durch Verlust an lebendiger Kraft, während bei heberartig auf- und absteigenden Krümmungen eine theilweise oder vollständige Absperrung der Leitung eintreten kann.

Wie in Figur 36 angedeutet ist, wobei man sich beispielsweise eine im Ganzen nahezu horizontale Wasserleitung oder Dampfleitung vor-

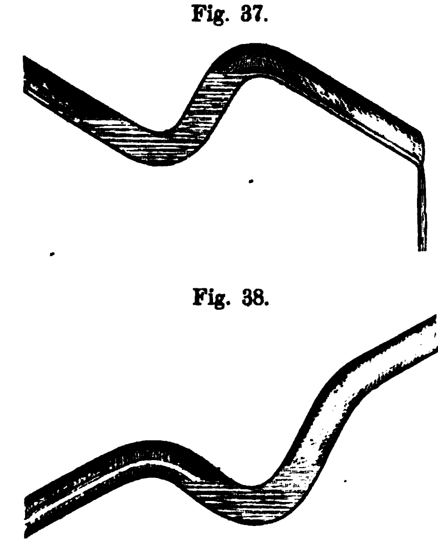
Fig. 36.



stellen mag, kann sowohl die dichtere Flüssigkeit durch eine dünnere, wie auch die dünnere durch eine dichtere abgesperrt sein.

Fig. 37.

Fig. 38.



Bei einer Wasserleitung, sogar wenn sie im Ganzen viel Gefälle hat (Fig. 37), können einige Biegungen veranlassen, dass das Wasser entweder gar nicht ausläuft oder nur in einer zu dem Leitungsquerschnitt in keinem Verhältnisse stehenden geringen Menge, obgleich eine bedeutende Druckhöhe vorhanden ist.

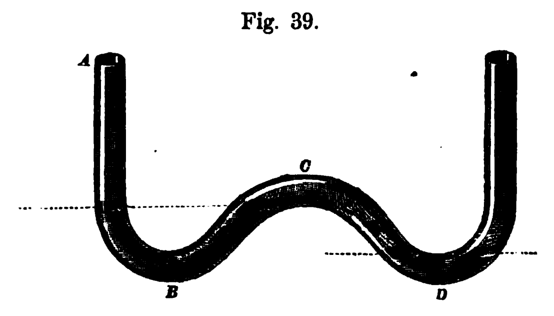
Bei einer im Ganzen ansteigenden Dampfleitung (Fig. 38) kann durch das sich in einer Röhrenkrümmung sammelnde Condensationswasser der Dampf vollständig abgesperrt werden. Hat der Dampf hierbei im unteren Theile eine grosse Spannung erreicht, so kann er das Wasser so

weit nach dem höheren Theile drängen, dass er über den tiefsten Punkt der oberen Krümmungslinie im ansteigenden Heberschenkel gelangt und emporfliesst; aber in Folge der damit eintretenden beiderseitigen Spannungsänderung entsteht wieder vollständige Absperrung, so dass die Dampfströmung eine sehr geringe und zwar periodische, stossweise ist.

Derartige Vorgänge sollen in der folgenden allgemeineren Betrachtung weiter untersucht werden, wobei zwei beliebige verschieden dichte Flüssigkeiten gedacht werden mögen, welche aber der besseren Vorstellung wegen als Wasser und Luft angenommen werden.

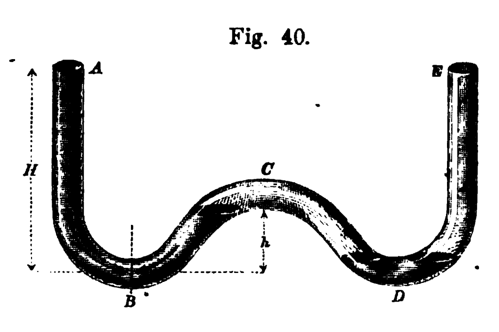
Eine Röhre habe die Gestalt der Fig. 39. Giesst man bei A Wasser ein, so erhebt sich dieses gegen C, rinnt von da gegen D hinab, und es wird ein Moment eintreten, in welchem der Bogen D gerade durch Wasser geschlossen und die Röhre in der skizzirten Weise mit Wasser und Luft ausgefüllt ist. Die zwischen dem Wasser abgesperrte Luft erleidet nun noch keine Pressung, und es ist keine Ursache vorhanden, wesshalb dieselbe mehr nach der einen oder andern Seite geschoben werden sollte; die Wassermenge im Bogen B sowohl, wie die im Bogen D ist für sich im Gleichgewicht.

Fig. 39.



Es werde aber mehr Wasser bei A zugegossen; wird dasselbe in der durch Fig. 40 dargestellten Weise die Röhre füllen können? Wird die Luftblase in C das Ueberfliessen nach D verhindern oder nicht? Gewiss nicht.

Fig. 40.

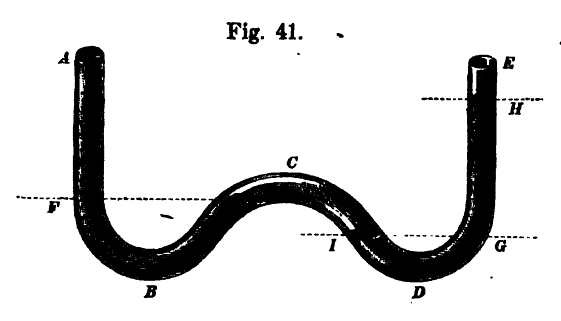


Betrachte man nur beispielsweise die Wassertheilchen im Querschnitte B, sie sind nicht im Gleichgewicht. Von A her wirkt der Druck der Wassersäule von der Höhe H, von C her der Druck der kleineren Wassersäule von der Höhe h. Es ist also ein Ueberschuss an Druck

von A her vorhanden, ein Ueberdruck der Wassersäulenhöhe $H - h$, welcher das Wasser über den Bogen C heben, beziehungsweise gegen D und E hin verdrängen muss.

Während aber in dieser Weise Wasser überfliesst, folglich die Wassersäule nach Fig. 41 gegen E hin wächst, muss sich das Wasser zugleich auch von D gegen C hin erheben, die Luft daselbst zusammenpressen; doch kann es die Luftblase nicht gegen B hin herabdrängen, so lange der Druck von D her nicht grösser ist als der entgegengesetzte Druck der Wassersäule AF. Die Volumen-Verminderung der eingeschlossenen Luft in Folge der Pressung ist geringer, als sie der Anschaulichkeit wegen in der Figur dargestellt ist; doch kommt es darauf hier nicht an, eben so wenig auf die mit der Volumenverminderung erfolgende Spannungserhöhung. Die eingeschlossene Luft dient bei jeder Spannkraft dazu, den auf sie an irgend einer Stelle ausgeübten Druck nach allen Seiten gleichmässig fortzupflanzen.

Fig. 41.



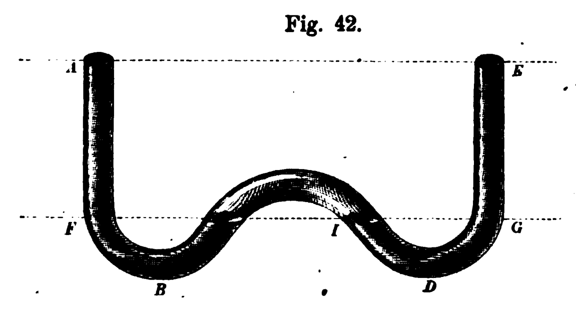
Wie hoch wird nun das Wasser in der Röhre E stehen, sobald die Röhre A damit gefüllt ist? Jedenfalls nur so hoch, dass die Höhe GH der Höhe AF gleich ist.

Das Wasser im Bogen B unter FC ist für sich im Gleichgewicht; ebenso das Wasser im Bogen D unter IG. Der Druck der Wassersäule AF wird durch das Wasser und die eingeschlossene Luft nach B, C, I, D, G fortgepflanzt, ebenso in entgegengesetzter Richtung der gleich grosse Druck der gleich hohen Wassersäule GH. Es begegnen sich also in allen Punkten zwei gleich grosse Druckkräfte, welche sich aufheben müssen.

Giesst man aber bei E Wasser ein, so muss das Wasser gleichzeitig über H und I steigen, die mehr gepresste Luftblase wird gegen B hinübergedrängt, drückt also bei A so lange Wasser hinaus, bis, wie in Fig. 42 dargestellt ist, $EG = AF$ geworden, das heisst, bis die beiden Grenzflächen der Luft und des Wassers in der Röhrenkrümmung in einer Horizontalebene liegen, vorausgesetzt, dass auch die Mündungen A und F sich in einer Horizontalebene befinden.

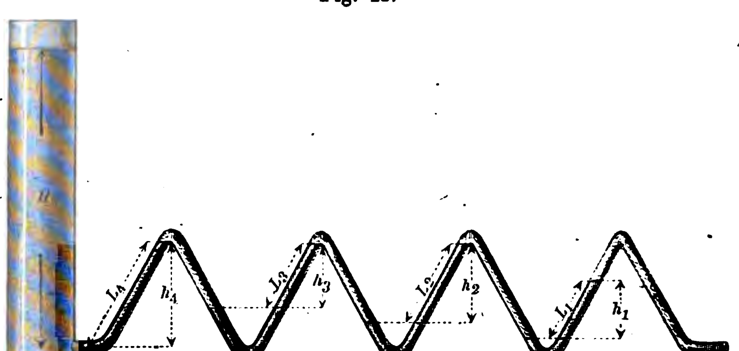
Indem man die Untersuchung in ähnlicher Weise auf mehrere Röhrenkrümmungen ausdehnt, wird man erkennen, dass bei einer oberflächlich angelegten Wasserleitung trotz einer bedeutenden Druckhöhe das Wasser still stehen kann und dass sich bei diesem Stillstande, wenn die Röhren durchsichtig wären, ein Bild bieten müsste, wie es — nur in grellen Verhältnissen — durch Fig. 43 dargestellt ist.

Fig. 42.



Die kleinen Wassersäulen von den Längen L_1, L_2, L_3, L_4 oder von den Höhen h_1, h_2, h_3, h_4 drücken gegen das Reservoir hin. In

Fig. 43.



entgegengesezter Richtung drückt die Wassersäule des Reservoirs von der Höhe H. Gleichgewichtsbedingung ist also

$$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = H$$

Da wegen der zunehmenden Pressung der Luft in Folge der Fortpflanzung der einzelnen Druckkräfte gegen das Reservoir hin die Luftblasen immer kleiner sind, so ist auch die Summe der Höhen der diesen Luftblasen gegenüber stehenden Wassersäulchen in allen Fällen kleiner als die Summe der betreffenden Krümmungshöhen.

Man kann demnach sicher behaupten: das Wasser wird noch durch die Leitung fliessen, wenn die Summe aller Krümmungshöhen, oder Erhebungen der Leitung überhaupt, kleiner ist als die Druckhöhe des

Wassers vom Niveau des Reservoirs bis zur Abflussstelle daselbst. Denn in diesem Falle ist um so mehr

$$(h_1 + h_2 + h_3 + h_4) < H$$

die Ausflussmenge wird aber bei dem Vorhandensein vieler Krümmungen eine geringe sein, weil die in den Krümmungen sitzenden Luftblasen bedeutenden Verengungen des Röhrenquerschnitts in Rücksicht auf hemmende Wirkung gleichkommen.

Dritter Abschnitt.

Von der Wärme.

---

§. 36.

Verschiedene Ansichten über die Wärme.
Hauptsätze der mechanischen Wärmetheorie.

Im gewöhnlichen Leben versteht man unter Wärme ein uns wohl bekanntes Gefühl, die Wärmeäusserung, also die Wirkung irgend einer Ursache, welche den Wärmezuständen oder Temperaturen der Körper zu Grunde liegt; in der Wissenschaft dagegen ist Wärme das Ursächliche selbst, ein Wirksames, von welchem jeder Körper eine gewisse Menge besitzt, dessen Vermehrung ihn wärmer und dessen Verminderung ihn kälter macht, wovon auch verschiedene andere Zustände der Körper abhängig sind.

Nach älteren Ansichten über die Natur oder das Wesen der Wärme ist die Wärme eine besondere Materie, Wärmestoff genannt. Dieser Wärmestoff ist in allen Körpern, selbst bei der niedrigsten Temperatur in gewisser Menge vorhanden, wird aber von einigen Körpern stärker, von anderen schwächer angezogen. Wird einem Körper Wärmestoff zugeführt, so vermag er ihn, je nach seiner Verwandtschaft zu ihm, mehr oder weniger festzuhalten. Durch die Anhäufung dieses Wärmestoffs in einem Körper wird dieser wärmer. Doch bringt nicht gleiche Anhäufung des Wärmestoffs in allen Körpern gleiche Temperaturerhöhung hervor, und ebenso kann sich bei der Aenderung des Aggregatzustandes, indem hiebei der Körper gewissermassen ein anderer wird, der Wärmestoff im Körper anhäufen, ohne ihn wärmer zu machen.

Es war nahe liegend, und ist bis in die neuere Zeit mehrfach versucht worden, dem Weltäther, der ja doch zur Erklärung der Lichterscheinungen in der Physik allgemein zugelassen wurde, als Wärmematerie Anerkennung zu verschaffen, und das Wärmerwerden eines Körpers durch die Anhäufung, also Verdichtung des Aethers zu erklären.

Man muss zugeben, dass diese Hypothese in manchen Fällen eine sehr einfache und anschauliche Erklärung der Wärmeerscheinungen ermöglicht.

Die materiellen Wärmetheorien wurden von der Aetherundulationstheorie in den Hintergrund gedrängt. Nach dieser Theorie entsteht die Wärme durch Schwingungen des Aethers.

Seit der Mitte dieses Jahrhunderts gewinnt die mechanische Wärmetheorie immer mehr Anhänger. Die Aetherschwingungen sind hiebei nicht ausgeschlossen; diese wirken auf die kleinsten Theile der wägbaren Materie selbst ein, und das Warmsein eines Körpers besteht in einer Bewegung der materiellen Atome und der sie umgebenden Aetherhüllen; das Wärmerwerden muss alsdann durch eine Verstärkung dieser Bewegungen veranlasst werden.

Im Allgemeinen besteht also die Wärme in Thätigkeitszuständen oder in einer Bewegungsform der wägbaren und unwägbaren Materie. Wie der Schall nichts anderes ist als ein Thätigkeitszustand der Körper, welcher auf unseren Gehörsinn wirkend uns zum Bewusstsein kommt, ebenso ist die Wärme ein in anderer Form auftretender Thätigkeitszustand der Materie, welcher durch den Tastsinn von uns erkannt wird. Wie diese Thätigkeitszustände oder Molekularbewegungen, welche zugleich den Aggregatszustand bedingen, nach Clausius aufzufassen sind, ist bereits in §. 3 mitgetheilt.

Die mittels der mechanischen Wärmetheorie entwickelten theoretischen Resultate haben grössten Theils durch exacte Experimente so überraschende Bestätigung gefunden, dass der mechanischen Wärmetheorie gegenüber die anderen bekannten Wärmetheorien aufgegeben werden müssen, wenngleich auch in der mechanischen Wärmetheorie Hypothesen obwalten und die Annahmen der Gelehrten in nebensächlichen Dingen, wie über die Art der als Wärme sich äussernden Bewegungsformen und über die gegenseitige Betheiligung der Moleküle und des Aethers dabei, nicht übereinstimmen. (Vgl. Zeuner, Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie.)

In jedem Falle hat man es mit materiellen Theilchen zu thun, die sich mit gewisser Geschwindigkeit bewegen; es ist also in denselben eine gewisse mechanische Arbeit angehäuft. Je schneller die Bewegung der materiellen Theilchen ist, desto grösser ist auch die im

Körper angehäufte Wärme, oder um so wärmer erscheint uns der Körper. Da aber dann auch die lebendige Kraft der Bewegung, oder mit anderen Worten die im Körper angehäufte mechanische Arbeit um so grösser ist, so hat man daraus geschlossen, dass Wärme und Arbeit ein und dasselbe ist; also:

„Wärme und Arbeit sind äquivalent."

Das ist der Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie.

Diese Ansicht hat in vorstehender Form zuerst Mayer ausgesprochen. Aus der Aequivalenz von Wärme und Arbeit und dem Princip von der Erhaltung der Energie folgt der durch viele Erfahrungen bestätigte Clausius'sche Grundsatz:

In allen Fällen, wo durch Wärme Arbeit entsteht, verschwindet eine der erzeugten Arbeit proportionale Wärmemenge, oder wird verbraucht, und umgekehrt, durch Verrichtung einer eben so grossen Arbeit kann dieselbe Wärmemenge wieder erzeugt werden.

§. 37.

Wärmeeinheit. Mechanisches Aequivalent der Wärmeeinheit und Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit.

Um Wärmemengen zu messen, nimmt man als Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge an, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen. Diese Wärmemenge wird auch als eine Calorie bezeichnet. Wenn Wärme und Arbeit äquivalent sind, so muss der Wärmeeinheit eine ganz bestimmte mechanische Arbeit entsprechen. Man hat gefunden, dass dieses „mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit" 424 Meter-Kilogramm beträgt.

Der mechanischen Arbeit von 1 Meter-Kilogramm entspricht alsdann die Wärmemenge $\frac{1}{424}$ Wärmeeinheit; folglich ist das „Wärmeäquivalent der Arbeitseinheit" $\frac{1}{424}$ Calorie.

Zur Erläuterung des Vorstehenden mag folgendes Beispiel dienen.

Wenn einem Körper die Wärmemenge von 10 Calorien zugeführt worden ist, so war die Wärmemenge 10 mal so gross, als sie für die Erwärmung von einem Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. nothwendig wäre.

Diese Wärmemenge entspricht einer mechanischen Arbeit von 424 . 10 = 4240 Meter-Kilogramm, das heisst, wäre diese Wärme in Arbeit verwandelt worden, so hätte man dadurch 4240 Kilogramm 1 Meter hoch heben können.

Wie eine Wärmemenge in Arbeit umgesetzt werden kann, so lässt sich auch das Umgekehrte ausführen. Einer mechanischen Arbeit von 4240 Meter-Kilogramm entspricht die Wärmemenge $\frac{1}{424} \cdot 4240 = 10$ Calorien. Wäre die Arbeit von 4240 Meter-Kilogramm auf irgend eine Weise, etwa durch Compression eines Gases, in Wärme verwandelt worden, so würde diese erzeugte Wärme 10 Wärmeeinheiten betragen und im Stande sein, 10 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. zu erwärmen.

§. 38.

Innere und äussere Arbeit. Ausdehnung durch die Wärme.

In jedem Körper von irgend einer Temperatur ist eine gewisse Menge von Wärme oder Arbeit enthalten, indem die Moleküle beständig in Bewegung sind. Weitere Zuführung von Wärme veranlasst einen Arbeitszuwachs, welcher aus zwei Theilen besteht, zunächst im Körper selbst. Die Schwingungsgeschwindigkeit wird erhöht und zugleich gehen Veränderungen in der gegenseitigen Stellung der Moleküle, oder in der Anordnung der Bestandtheile derselben, der Körperatome, vor sich; solche Veränderungen erfordern, weil diese Theilchen mit gewissen Kräften auf einander wirken, ebenfalls Arbeit. Den gesammten durch Erwärmung hervorgebrachten Zuwachs der im Körper angehäuften Arbeit oder Wärme, wie auch die ganze in einem Körper angehäufte Wärme oder Arbeit nennt man nach Clausius die „innere Arbeit".

In den meisten Fällen dehnen sich die Körper in Folge der Wärmezuführung aber auch aus und überwinden dabei einen von aussen wirkenden Druck, verrichten also Arbeit, deren Grösse häufig messbar ist. Diese Arbeit nennt man nach Clausius die „äussere Arbeit".

Wenn also bei der Wärmezuführung Volumenvergrösserung des Körpers stattfindet, so wird ein Theil der zugeführten Wärme zu innerer, der übrige Theil zu äusserer Arbeit verbraucht. Findet aber die Wärmezuführung bei constantem Volumen des Körpers statt, so wird die ganze zugeführte Wärme zur Erhöhung der inneren Wärme oder inneren Arbeit verbraucht.

Die Veränderung der inneren Arbeit ist in vielen Fällen durch Temperaturveränderung wahrnehmbar, in anderen Fällen, wie beim Schmelzen und Verdampfen, durch Veränderung des Aggregatzustandes, oft auch durch beide Erscheinungen zugleich. Ganz unabhängig übrigens von der Anschauungsweise der mechanischen Wärmetheorie und irgend einer Wärmetheorie überhaupt gelten der Erfahrung nach die folgenden Sätze.

Wenn eine Wärmemenge in einem Körper eindringt, so nimmt — von einigen abnormen und durch andere Einflüsse erklärbaren Erscheinungen abgesehen — der ganze Körper an Volumen zu, wenn die Ausdehnung des Körpers nicht durch äusseren Druck verhindert ist. Wird aber durch äusseren Druck die Ausdehnung verhindert, so erfolgt anstatt der Vergrösserung des Volumens eine um so grössere Erhöhung des inneren Druckes, der Spannkraft, und eine um so höhere Temperatur.

Der durch das Eindringen der Wärme ausgedehnte Körper zieht sich, von kälteren Körpern umgeben, alsbald wieder zusammen, während er durch die von ihm ausgehende Erwärmung seiner Umgebung erkaltet, bis er mit dieser gleiche Temperatur hat.

Die Ausdehnung eines Körpers steht mit der Menge der eingedrungenen Wärme in einem bestimmten, unter denselben Umständen unveränderlichen, wenn auch nicht immer in einem einfachen, Verhältnisse; sie kann also dazu dienen, den Grad der Erwärmung, die Temperatur eines Körpers, zu messen. Auch lässt sich vorher bestimmen, eine wie grosse Ausdehnung ein Körper bei einer gewissen Temperatur erfahren wird, nachdem einmal jenes Verhältniss, der Ausdehnungscoëfficient, und dessen Unveränderlichkeit oder dessen Veränderungsgesetz unter verschiedenen Umständen, bei niederen und höheren Temperaturen, durch zuverlässige Versuche über die Ausdehnung der betreffenden Substanz festgestellt ist.

Die Ausdehnungscoëfficienten der Körper sind sehr verschieden; am kleinsten sind sie bei den starren Körpern, jedoch zunehmend bei höheren Temperaturen; grösser sind sie bei den tropfbar flüssigen, am grössten bei den luftförmigen Körpern.

§. 39.

Ausdehnungscoëfficienten im Allgemeinen.

Fast in allen Büchern, welche diesen Gegenstand behandeln, findet man Formeln für die Längen-, Flächen- und Volumen-Ausdeh-

nung entwickelt, in einigen sogar die drei verschiedenen Ausdehnungscoëfficienten sowohl für feste, wie flüssige Körper tabellarisch zusammengestellt, wobei sich die drei Coëfficienten jedesmal einfach verhalten wie 1 : 2 : 3, was hinreichend genau ist.

Es wird aber kaum jemals ein Fall vorkommen, in welchem von den Coëfficienten der Flächenausdehnung Gebrauch zu machen wäre, und auch die kubische oder Volumenausdehnung der festen Körper ist, wenigstens für die in diesem Buche zu besprechenden Gegenstände, ohne Bedeutung. Bei den festen Körpern haben wir es nur mit der linearen Ausdehnung zu thun, bei den flüssigen Körpern dagegen nur mit der Volumen-Ausdehnung.

So ist uns z. B. bei Metallkörpern, an eisernen Platten, Heizröhren u. dergl., welche grossen Temperaturdifferenzen ausgesetzt werden, die Volumen- und Oberflächenausdehnung gleichgültig; wir geben solchen Körpern einfach nach jeder Dimension den der linearen Ausdehnung entsprechenden Spielraum. Dass dagegen bei denjenigen Körpern, welche keine bestimmte Gestalt haben, also nach der Ausdehnung nicht mehr einen ähnlichen geometrischen Körper darstellen, also bei den tropfbaren und elastischen Flüssigkeiten, nur die Volumenausdehnung in Betrachtung gezogen wird, ist ebenso einleuchtend. Die Ausdehnungscoëfficienten, so weit sie hierher gehören, werden in Folgendem mitgetheilt, und zwar als Mittelwerthe, das heisst, ohne Rücksicht darauf, dass sie bei verschiedenen Temperaturhöhen nicht ganz gleich bleiben.

Als Coëfficient der linearen Ausdehnung, welcher allgemein mit l bezeichnet werden mag, gilt alsdann der Zahlenwerth derjenigen Länge l, um welche ein Körper, bei 0° von der Länge 1 gedacht, bei einer Temperaturerhöhung von je 1° C. ausgedehnt wird. Dieser Coëfficient, in allen Fällen eine kleinere Länge als die Längeneinheit vorstellend, wird fast immer als Decimalbruch geschrieben.

Wenn die Längeneinheit 1 Meter bei 1° C. den Zuwachs l erhält, und bei t^0 den Zuwachs $t \, . \, l$, so beträgt bei der Temperatur t^0 und bei irgend einer Länge L der Zuwachs Llt; die ganze Länge L_1 bei t^0 ist alsdann:

$$L_1 = L + Llt$$

oder

$$L_1 = L\,(1 + lt) \text{ Meter.}$$

Wenn ferner k der Coëfficient der cubischen oder körperlichen Ausdehnung, also diejenige Zahl ist, welche ausdrückt, um wie viel die Volumeneinheit, 1 Cubikmeter, bei der Temperaturerhöhung von 0° auf 1° C. sich ausdehnt, so ist die Volumenzunahme von einem Cubikmeter

bei t^0 ausgedrückt durch $k \cdot t$; die Volumenzunahme von V Kubikmeter ist Vkt und folglich das ganze Volumen V_1 nach der Erwärmung um t^0 C.:

$$V_1 = V + Vkt$$

oder

$$V_1 = V(1 + kt) \text{ Cubikmeter.}$$

§. 40.

Ausdehnungscoëfficienten fester Körper.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ausdehnungscoëfficienten einiger fester Körper zusammengestellt, wie sie bei Temperaturen zwischen 0 und 100° C. gefunden wurden. Für sehr hohe Hitzegrade, etwa von 500 oder 1000° würden diese Coëfficienten bedeutend zu klein sein, weil bei allen diesen Körpern die Ausdehnung stärker zunimmt als die Temperaturerhöhung. Die Verschiedenheit der angegebenen Coëfficienten erklärt sich theils aus der verschiedenartigen Zusammensetzung, theils aus der verschiedenartigen Bearbeitung vor der Bestimmung der Ausdehnungscoëfficienten.

Coëfficienten der linearen Ausdehnung.

Alumium	0,000 022	bis	0,000 023
Blei	0,000 028	„	0,000 029
Eis	0,000 052		
Eisen, gegossen	0,000 010	„	0,000 011
„ geschmiedet	0,000 011	„	0,000 015
Glas	0,000 007	„	0,000 009
Gold	0,000 014	„	0,000 015
Granit	0,000 008	„	0,000 009
Hartloth (2 Thl. Kupfer, 1 Thl. Zink)	0,000 020		
Kupfer	0,000 017	„	0,000 019
Messig	0,000 018	„	0,000 021
Platin	0,000 008	„	0,000 010
Silber	0,000 019	„	0,000 021
Stahl, hart	0,000 012	„	0,000 014
„ weich	0,000 011	„	0,000 012
Tannenholz	0,000 003	„	0,000 005
Zink	0,000 029	„	0,000 034
Zinn	0,000 019	„	0,000 025

§. 41.

Ausdehnungscoëfficienten elastischer Flüssigkeiten.

Nach den genauen Versuchen von Magnus und Regnault sind die Ausdehnungscoëfficienten der elastischen Flüssigkeiten wenig von einander verschieden, aber keineswegs gleich gross. Der Ausdehnungscoëfficient ist bei denjenigen Gasen, welche leicht zu tropfbaren Flüssigkeiten comprimirbar sind, grösser als jener der atmosphärischen Luft, und zwar um so grösser, je leichter die Gase durch Compression flüssig werden. Auch wachsen die Ausdehnungscoëfficienten der Gase mit dem steigenden Druck.

Der Einfluss des Druckes auf den Ausdehnungscoëfficienten der Luft ist nach Regnault folgender: Bei einem Drucke von 110 Millimeter Quecksilberhöhe ist der Coëfficient 0,003 648 und wächst so, dass er bei einem Druck von 3655 Millimeter die Grösse 0,003 709 erreicht. Bei mittlerem Druck sind die Ausdehnungscoëfficienten für:

Atmosphärische Luft . . .	0,003 665
Wasserstoffgas	0,003 661 3
Kohlenoxydgas	0,003 668 8
Kohlensäure	0,003 709 9

§. 42.

Ausdehnung des Wassers.

Die Ausdehnung des Wassers ist so unregelmässig, dass ein Coëfficient für die Berechnung des Volumens bei irgend einer Temperatur aus dem Volumen bei 0° sich nicht angeben lässt.

Die Werthe der folgenden aus Recknagel's Experimental-Physik auszüglich entnommenen Tabelle geben das Volumen von 1 Gramm Wasser in Cubikcentimetern an, oder auch das Volumen von 1 Kilogramm Wasser in Cubikdecimetern oder Litern.

Tabelle über die Ausdehnung des Wassers.

Grade Celsius.	Volumen.	Grade Celsius.	Volumen.	Grade Celsius.	Volumen.
0	1,000 136	12	1,000 449	40	1,007 627
1	1,000 080	13	1,000 557	50	1,011 877
2	1,000 039	14	1,000 696	60	1,016 954
3	1,000 013	15	1,000 847	70	1,022 384
4	1,000 000	16	1,001 015	80	1,029 003
5	1,000 006	17	1,001 156	90	1,035 829
6	1,000 029	18	1,001 336	100	1,043 116
7	1,000 059	19	1,001 525	120	1,059 92
8	1,000 109	20	1,001 732	140	1,079 49
9	1,000 148	25	1,002 856	160	1,101 49
10	1,000 257	30	1,004 234	180	1,126 78
11	1,000 336	35	1,005 823	200	1,158 99

Hieraus ist ersichtlich, dass das Wasser bei 4° C. im Zustande seiner grössten Dichtigkeit ist. Wasser von 4° dehnt sich bei jeder Temperaturänderung aus, man mag es abkühlen oder erwärmen.

Die Volumenwerthe über 100° betreffend ist beizufügen, dass es Resultate von Hirn sind, bei dessen Beobachtungen das Wasser unter einem constanten Drucke von nahezu 15 Atmosphären stand.

Wie man daraus erkennt, kann das Sieden des Wassers dadurch verhindert werden, dass man den Druck auf seine Oberfläche vermehrt.

§. 43.

Besondere Erscheinungen der Ausdehnung und Zusammenziehung. Schwinden und Wachsen.

An die vorerwähnte Anomalie des Wassers, dass seine Temperaturzunahme nicht durchaus von Ausdehnung begleitet ist, reiht sich die Erscheinung, dass bei dem Erstarren des Wassers eine noch bedeutendere Ausdehnung stattfindet, so dass das specifische Gewicht des Eises bei 0° nur 0,926 ist.

Volumenvergrösserung beim Erstarren kommt auch bei anderen Substanzen vor, und erklärt sich aus einer Aenderung des Gefüges; so beim Erstarren von Gypsbrei und von geschmolzenen Metallen. Dess-

halb ist das Schwinden in Folge der Abkühlung und die nothwendige Vergrösserung von Gussformen nicht geradezu nach den Ausdehnungscoëfficienten mit Rücksicht auf die Temperaturverminderung zu berechnen.

Für die häufig Anwendung findenden Gussmetalle ist das Verhältniss der Zusammenziehung zur Längeneinheit der Gussform, das Schwindmass, durch die Erfahrung festgestellt; so beträgt das Schwindmass

$$\text{bei Gusseisen } \frac{1}{96},$$

$$\text{bei Messing } \frac{1}{65}.$$

Für gebrannten Thon ist das Schwindmass ungefähr $\frac{1}{10}$.

Die Ursache des Schwindens beim Thon ist aber nicht Abkühlung, sondern im Gegentheil hauptsächlich die Erhitzung.

Zunächst schwindet die Thonmasse beim Trocknen durch Wasserverlust, dann mehr beim Brennen durch Zusammensintern.

Hygroskopische, Feuchtigkeit enthaltende, organische Körper schwinden gleichfalls in Folge des Verlustes von Wasser durch das Austrocknen. Holz schwindet in der Richtung der Längenfasern fast gar nicht, in der Querschnittsrichtung dagegen um 6 bis 9 Procent, und zwar hartes Holz mehr als weiches.

Bei gusseisernen Ofentheilen, namentlich Roststäben, entsteht in der ersten Zeit des Gebrauchs durch die Einwirkung starker Hitze eine bleibende Volumenvergrösserung, das sogenannte Wachsen, in Folge dessen Roststäbe sich biegen und selbst nach der Abkühlung zwischen den Lagern festgeklemmt sind, wenn nicht genügend Spielraum gegeben wird.

Das Volumen der abgekühlten Körper ist immerhin wieder geringer als das der erhitzten, wenn weitere Veränderungen nicht vorkommen, also beim gesinterten Thon und beim „gewachsenen“ Eisen; ebenso bei Holz, wenn es während der Abkühlung nicht wieder Feuchtigkeit aufnimmt, wenn es also in abgesperrter trockener Luft abgekühlt wird, etwa unter einer Glasglocke, worin sich eine Schale mit Schwefelsäure befindet, oder überhaupt wenn in dieser Weise die Austrocknung bei niederer Temperatur bewerkstelligt wird.

§. 44.

Messung der Temperatur. Thermometer.

Unser Gefühl ist für die Beurtheilung der Temperatur ein unsicherer Massstab, wenn auch Zunahme der Temperatur das Gefühl von Wärme, und Abnahme der Temperatur das Gefühl von Kälte in uns erzeugt.

Als Massstab für die genauere Wahrnehmung, beziehungsweise Messung, selbst geringer Differenzen der Itensität des Wärmezustandes, der Temperatur, bei verschiedenen Körpern dient irgend ein Körper, welcher sich ziemlich proportional mit der Zunahme und Abnahme der Temperatur ausdehnt und zusammenzieht. Die hiebei dienlichen Apparate oder Instrumente heissen Thermoskope und Thermometer, für die Benutzung bei sehr hohen Temperaturen Pyroskope und Pyrometer.

Die bekannten Quecksilber-Thermometer sind, wenn man sich auch über Ungenauigkeiten, die von der Ausdehnung des Glases und der Veränderlichkeit des Ausdehnungscoëfficienten des Quecksilbers herrühren, hinwegsetzen wollte, doch bei sehr hohen und sehr tiefen Temperaturen nicht mehr benützbar, weil das Quecksilber bei ungefähr + 360° C. siedet und bei — 39° C. gefriert. Bei sehr niedrigen Temperaturen, wie sie z. B. mitunter in Russland im Freien vorkommen und bei uns für gewisse Zwecke künstlich hervorgebracht werden, kann man Weingeist-Thermometer anwenden.

Die im gewöhnlichen Leben in Deutschland am meisten bekannten und gebrauchten Thermometer sind die Réaumur'schen, während in der deutschen und französischen Gelehrtenwelt fast nur das Celsius-Thermometer genannt wird und in englischen Schriften häufig Temperaturen nach Fahrenheit angegeben werden.

Dadurch kommt man zuweilen in die Lage, die Temperaturangaben auf eine andere Skala reduciren zu müssen. Man nennt diese drei Thermometer der obigen Ordnung nach auch das achtzigtheilige, das hunderttheilige und das einhundertachtzigtheilige, weil die Skala zwischen dem Gefrierpunkt und Siedepunkt des Wassers

bei Réaumur in 80,
„ Celsius „ 100,
„ Fahrenheit „ 180

Grade getheilt ist.

Der Gefrierpunkt ist bei Réaumur und Celsius 0°, bei Fahrenheit aber + 32°. Der Siedepunkt ist demnach bei Réaumur 80°, bei Celsius 100°, bei Fahrenheit 212°.

Bezeichnet man der Reihe nach mit R°, C°, und F° die Grade des Thermometers nach Réaumur, Celsius und Fahrenheit, so kann man sich folgender Reductionsformeln bedienen:

Für die Reduction auf Celsius-Grade:

$$C^0 = \frac{5}{4} R^0 = \frac{5}{9} (F^0 - 32).$$

Für die Reduction auf Réaumur-Grade:

$$R^0 = \frac{4}{5} C^0 = \frac{4}{9} (F^0 - 32).$$

Für die Reduction auf Fahrenheit-Grade:

$$F^0 = 32 + \frac{9}{5} C^0 = 32 + \frac{9}{4} R^0.$$

Aussergewöhnliche Constructionen von Thermometern, wie Metall-Thermometer mit Signalvorrichtungen u. dgl. werden bei Besprechung der speciellen Zwecke, für welche sie dienen, beschrieben werden.

§. 45.

Pyrometer. Schmelzpunkte von Metallen und Legirungen.

Nicht eben so einfache und zuverlässige Instrumente wie Quecksilber-Thermometer hat man zum Messen solcher Hitzegrade, bei welchen die Quecksilber-Thermometer nicht mehr gebraucht werden können. Das Kapitel von der Messung hoher Temperaturen, die Pyrometrie, gehört zur Zeit noch zu den schwachen Seiten der Physik.

Ein verhältnissmässig gutes Pyroskop ist das von James Prinsep. Es werden Legirungen von Platin und Gold in verschiedenen Verhältnissen bereitet, so dass man hat:

Platin oder	100 Theile	Platin	mit	0 Theilen	Gold,
Legirung von	99 Theilen	„	„	1 Theil	„ ,
„ „	98 „	„	„	2 Theilen	„ ,

und so weiter bis

Legirung aus	1 Theil	Platin	mit	99 Theilen	Gold,
Gold oder	0 „	„	„	100 „	„

Diese Metalle und Legirungen werden zu dünnem Blech ausgewalzt, und ausgeschnittene kleine Stücke davon auf eine Thonplatte in solcher

Ordnung gesteckt, dass man jede Legirung aus ihrem Platze wieder erkennen kann. Grosser Hitze ausgesetzt sollen die Blechstückchen annähernd im Verhältniss des Goldgehaltes früher zum Schmelzen kommen, wobei sich die scharfkantigen Blechstückchen kugelförmig abrunden. Da man weiss, dass der Schmelzpunkt des Platins bei ungefähr 2500° C. liegt, jener des Goldes bei ungefähr 1100°, so kann man auf diese Weise gewisse hohe Temperaturen wenigstens annähernd bestimmen.

Für weniger hohe Temperaturen können in ähnlicher Weise Legirungen von Gold und Silber oder anderen Metallen, oder die verschiedenen Metalle selbst zur Anwendung kommen. Es ist aber zu berücksichtigen, dass nicht alle Metalle sich mit einander legiren lassen, so z. B. nicht Blei und Eisen; ferner dass die Schmelzpunkte der Legirungen sich nicht immer nach Proportionen wie bei einer gewöhnlichen Vermischungsrechnung feststellen lassen; häufig liegt der Schmelzpunkt einer Legirung tiefer, als der Schmelzpunkt eines jeden der die Legirung bildenden Metalle. Dieses ist aus der nachfolgenden Zusammenstellung einiger Schmelzpunkte zu ersehen und lässt sich daraus erklären, dass bei solchen Legirungen die gegenseitige Anziehung der verschiedenartigen Atome der sich durchdringenden Metalle weniger stark ist als die gegenseitige Anziehung der gleichartigen Atome eines jeden Bestandtheils im ursprünglichen Zustande.

Im Zusammenhange damit, ist die Dichte der einen Legirung kleiner, die der anderen grösser, als sie nach der Berechnung aus den specifischen Gewichten ihrer Bestandtheile sich ergeben sollte.

Legirungen von grösserer als der mittleren Dichte der sie bildenden Metalle sind beispielsweise: Gold und Zink, Gold und Zinn, Gold und Wismuth; Silber und Zink, Silber und Blei, Silber und Zinn, Silber und Wismuth; Kupfer und Zink, Kupfer und Zinn, Kupfer und Wismuth; Blei und Wismuth.

Legirungen, deren Dichte kleiner ist, als die mittlere Dichte der sie bildenden Metalle, sind: Gold und Silber, Gold und Eisen, Gold und Blei, Gold und Kupfer; Silber und Kupfer; Kupfer und Blei; Eisen und Wismuth; Eisen und Blei; Zinn und Blei und andere.

Alle Legirungen von Blei, Zinn und Wismuth in verschiedenen Verhältnissen unter einander sind leichter schmelzbar, als nach der Schmelzbarkeit der sie bildenden Metalle zu erwarten wäre; einige zeichnen sich ganz besonders durch ihre Leichtflüssigkeit aus. So die Rose'sche Legirung aus 2 Theilen Wismuth, 1 Theil Zinn und 1 Theil Blei, welche schon in siedendem Wasser schmilzt.

Die Angaben in Betreff der Schmelzpunkte der Metalle differiren zum Theil bedeutend, weil eben die Bestimmung von Temperaturen, die über eine mässige Glühhitze hinausgehen, schwierig ist. Die Unsicherheit dieser Angaben und der Mangel an zuverlässigen, handlichen Pyrometern beeinflussen sich gegenseitig in misslicher Weise.

Als die genauesten Bestimmungen der Schmelzpunkte gelten die von Daniell, wesshalb solche, soweit sie bekannt sind, in der folgenden Tabelle besonders hervorgehoben werden mögen. Die Differenzen in der zweiten Rubrik rühren meistens daher, dass die Bestimmungen mittels des unzuverlässigen Wedgwood'schen Pyrometers gemacht worden sind. Nur aus diesem Grunde mag dieses Pyrometer, oder richtiger Pyroskop, hier beschrieben werden.

Es ist bekannt, dass der Thon in grosser Hitze zusammensintert, schwindet, und bleibend ein um so kleineres Volumen annimmt, je höher die auf ihn wirkende Temperatur ist. Weil aber jede Thonart ihr besonderes Schwindmass hat, schlug Wedgwood schon im Jahre 1782 vor, von den ausgedehnten Thonlagern in Cornwallis die pyrometrische Substanz für immer zu entnehmen, indem er voraussetzte, dass dieser Thon von constanter Homogenität sei. Einen von dieser Thonart gefertigten und bei 212° F. getrockneten Cylinder von bestimmten Dimensionen sollte man in den Raum bringen, dessen Hitzegrad man messen will, und die stattgefundene Schwindung nach der Abkühlung mittels eines Apparates messen, welcher aus einer Platte mit zwei darauf convergirend befestigten Leisten nebst Skala besteht. Wedgwood glaubte die Relation der Skala seines Thonpyrometers zu der Quecksilber-Thermometerskala gefunden zu haben und behauptete, es entspreche der Nullpunkt seines Pyrometers einer Temperatur von 1077,5° Fahrenheit, und jeder Pyrometergrad einem Temperaturintervalle von 130° Fahrenheit.

In den Jahren 1808 bis 1811 hat Guyton de Morveau in einigen Publicationen nachgewiesen, dass trotz einer gewissen Regelmässigkeit im Schwinden der Thonstücke Wedgwood's Pyrometer doch sichere Angaben nicht liefern, dass namentlich die Skala nicht richtig sei, indem ihr Anfangspunkt nicht bei 1077,5, sondern bei 510° F. liege und jeder Pyrometer-Grad nicht 130, sondern nur 61,2 Graden des Fahrenheit'schen Thermometers gleichkomme.

Dass bei Benützung eines so unvollkommenen Instruments die Versuchsresultate verschiedener Experimentatoren Differenzen aufweisen, wie die der folgenden Tabelle, ist begreiflich.

Schmelzpunkte der wichtigsten Metalle.

Metall.	Angaben verschiedener Autoren. Grade Celsius.			Nach Daniell. Grade Celsius.
Zinn	210°	230°	235°	239°
Wismuth . . .	246	256		264
Blei	260	312	334	354,5
Zink	360	370	423	411
Messing . . .	900			—
Bronze. . . .	900			—
Silber	999	1000		1022
Kupfer . . .	1100	1200		1092
Gold	1100	1250		1102
Gusseisen . . .	1050	1200		1587 (graues Roheisen).
Schmiedeeisen .	1500	1600	2118	—
Stahl	1300	1400		—
Platin	2500			—

Der Schmelzpunkt des Glases liegt im Mittel dem des Goldes nahe. Doch giebt es leichtflüssige und schwerflüssige Glassorten, wobei die Schmelzpunkte von 1000 bis 1400° C. differiren.

Für einige pyrometrische Zwecke sowie für Sicherheitsvorrichtungen bei Dampfkesseln u. dgl. sind die Schmelzpunkte folgender Legirungen wichtig:

Legirung.	Schmelzpunkt.
3 Theile Zinn, 2 Theile Blei, 5 Theile Wismuth	100° C.
3 „ Zinn, 1 Theil Wismuth	200 „
5 „ Zinn, 1 „ Blei	194 „
4 „ Zinn, 1 „ Blei	189 „
3 „ Zinn, 1 „ Blei	186 „
2 „ Zinn, 1 „ Blei	196 „
1 Theil Zinn, 1 „ Blei	241 „
1 „ Zinn, 3 Theile Blei	289 „

Das Pyrometer, welches J. F. Daniell um das Jahr 1830 construirt und mit welchem er eine Menge von Bestimmungen hoher Temperaturen gemacht hat, erfuhr im Laufe der Zeit einige Modificationen. Es beruht im Wesentlichen auf der Ausdehnung eines Platinstabs in der Hitze.

Ein 3 bis 4 Millimeter dicker Platinstab von etwa 25 Centimeter Länge ist von einem nahezu ebenso langen und an dem einen Ende mit ihm fest verbundenen Cylinder aus Graphit oder scharf gebranntem Thon oder einer Mischung aus Graphit und Thon umgeben. Die relative Verlängerung des Platinstabs bei der Erhitzung wird durch Drehung eines langen Zeigers an einem graduirten Bogen anschaulich gemacht. Dieses Daniell'sche Pyrometer, obwohl im Princip richtig und einfach, bietet doch in der Benützung mancherlei Schwierigkeiten, wodurch die Beobachtungsresultate leicht ungenau ausfallen.

Principiell vorzüglich ist das Luftpyrometer, nämlich eine hohle Platinkugel, welche in eine feine Röhre ausläuft. Bei hoher Temperatur entweicht ein grosser Theil der Luft aus der Hohlkugel. Bringt man hierauf die Spitze der feinen Röhre unter Wasser, so dringt während der Abkühlung so viel Wasser in die Platinkugel ein, als Luft verdrängt worden ist. Durch Wägen kann man die eingetretene Wassermenge erfahren, daraus, da je ein Gramm Wasser den Raum von einem Cubikcentimeter einnimmt, das Volumen der verdrängten Luft berechnen und aus diesem Volumen, mit Hülfe der bekannten Ausdehnungsgrösse der Luft, die Temperatur, welche die Platinkugel ausgesetzt war. Solche Bestimmungen erfordern immerhin grosse Sorgfalt und Mühe, wenn genaue Resultate erzielt werden sollen.

Ein Pyrometer von Pouillet beruht auf dem Entstehen eines thermoelektrischen Stromes, wenn Platin und Gold an der Verbindungsstelle erhitzt werden, indem die Stromstärke von der Temperatur abhängig ist, welcher jene Stelle ausgesetzt wird.

In neuerer Zeit sind einige Pyrometer construirt und patentirt worden, welche auf dem auch früher schon mehrfach benützten Princip der ungleichen Ausdehnung verschiedener Metalle in der Hitze beruhen. Aber es ist keines bekannt geworden, welches als zuverlässig und zugleich in erwünschtem Grade handlich bezeichnet werden könnte.

§. 46.

Specifische Wärme, Wärmecapacität.

Führt man verschiedenartigen Körpern von gleichem Gewicht oder von gleicher Grösse gleiche Wärmemengen zu, so erhöhen sich ihre Temperaturen nicht in gleichem Grade; ebenso werden sie nicht gleichviel kälter, wenn sie gleiche Wärmemengen verlieren. Sie enthalten also auch unter gleichen Umständen, bei gleicher Temperatur, ungleiche Wärmemengen.

Die Zahl, welche das Verhältniss der in gleich schweren oder gleich grossen Körpern unter gleichen Umständen, etwa bei 0°, vorhandenen Wärmemengen angeben würde, könnte man specifische Wärme nennen, wie man ja unter specifischem Gewicht eine ähnliche Verhältnisszahl versteht. Allein damit wäre für die Anwendung wenig gedient.

Man ist übereingekommen, diejenige Wärmemenge, welche der Gewichtseinheit Wasser zugeführt werden muss, damit sich dessen Temperatur von 0° auf 1° C. erhöht, als Wärmeeinheit oder als eine Calorie anzunehmen und unter der specifischen Wärme irgend eines Körpers diejenige Verhältnisszahl zu verstehen, welche ausdrückt, wie viele solche Calorien der Gewichtseinheit des Körpers zugeführt werden müssen, wenn derselbe ebenfalls eine Temperaturerhöhung von 0° auf 1° C. erreichen soll.

Ueber die hierbei geltende Gewichtseinheit hat man sich leider nicht ebenso geeinigt, indem Manche das Gramm, Andere das Kilogramm zu Grunde legen, wonach man also Gramm-Calorien und Kilogramm-Calorien zu unterscheiden hat. Da jedoch in der Regel schlichtweg von Calorien gesprochen wird, so ist bei der Anwendung der Zahlen auf die richtige Auffassung zu achten.

In diesem Buche sollen nur Kilogramm-Calorien in Anwendung kommen, so dass man also hier unter Wärmeeinheit oder Calorie diejenige Wärmemenge zu verstehen hat, welche die Temperatur von 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° C. erhöht, und unter specifischer Wärme einer Substanz diejenige Zahl von Calorien, welche in einem Kilogramm der Substanz die Temperaturerhöhung von 0° auf 1° veranlasst, oder überhaupt um 1° C. innerhalb der Grenzen der gewöhnlichen Temperaturen, da dieses durch Versuche als zulässig erkannt ist. Dabei ist der constante Druck der Atmosphäre vorausgesetzt.

Wärmecapacität bedeutet im Allgemeinen die Fähigkeit, Wärme zu enthalten oder aufzunehmen. Diese Aufnahmefähigkeit ist offenbar der wirklich aufgenommenen Wärme unter gleichen Umständen proportional und für gleiche Einheit auch durch dieselbe Zahl ausgedrückt. Dieselbe Zahl lässt auch erkennen, in welchem Verhältniss die verschiedenen Körper während der Temperaturverminderung Wärme abgeben, oder welche Wärmemenge denselben von der Umgebung entzogen werden muss, damit sie um einen Grad abgekühlt werden.

Man benützt desshalb die Bezeichnungen specifische Wärme und Wärmecapacität als identisch.

Bezeichnet man mit C die bekannte Wärmecapacität oder specifische Wärme eines Körpers, mit P das Gewicht desselben in Kilogramm, mit

t die geforderte Temperaturerhöhung und mit *W* die zur Erreichung derselben nöthige Wärmemenge, so ist

$$W = C\,P\,t \text{ Calorien.}$$

Die Wärmecapacität eines Körpers nimmt ab, wenn der äussere Druck zunimmt, und umgekehrt wächst bei abnehmendem Drucke die Wärmecapacität. Dieses ist nach den oben mitgetheilten Anschauungen der mechanischen Wärmetheorie erklärlich; ebenso das Ergebniss, dass bei festen und flüssigen Körpern die Wärmecapacität um so bedeutender ist, je höher die Temperatur, welche ein Körper bei constantem Druck und veränderlichem Volumen bereits erlangt hat, sowie auch, dass sie bei jeder Veränderung nicht nur des Aggregatzustandes, sondern auch des Gefüges sich ändert, so durch Ausglühen, Hämmern, Strecken und Winden.

Apparate, welche dazu dienen, Wärmemengen zu messen, heissen Calorimeter.

Specifische Wärme einiger Körper

bei constantem Atmosphärendruck und veränderlichem Volumen.

Körper	Wärme	Körper	Wärme
Atmosphärische Luft	0,2377	Platin	0,0324
Backsteine	0,189 bis 0,241	Quarz	0,1894
Eisen, weisses Gusseisen	0,1298	Sauerstoff	0,2182
Eisen, graues	0,1273	Silber	0,0570
Eisen, Schmiedeeisen	0,1138	Stahl, gehärtet	0,1175
Glas, gewöhnliches	0,1977	„ ungehärtet	0,1165
Holz, hartes	0,5700	Steinkohlen	0,2800
„ weiches	0,6500	Steinkohlen-Koks	0,2008
Holzkohle	0,2411	Stickstoff	0,2440
Kohlenoxydgas	0,2479	Wasser	1,0000
Kohlensäure	0,2164	Wasserdampf	0,4750
Kupfer	0,0951	Wasserstoff	0,4046
Marmor	0,2099	Zink	0,0956
Messing	0,0939	Zinn	0,0555

Nach Renault's Versuchen ist die specifische Wärme der meisten Gase bei constantem Druck von der Spannung und Temperatur unabhängig, also eine constante Zahl. Bei der Kohlensäure jedoch hat sich eine Zunahme der specifischen Wärme mit wachsender Temperatur gezeigt.

Die specifische Wärme der Gase bei constantem Volumen ist geringer als die bei constantem Druck, nämlich für Luft, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff

$$c = \frac{C}{1,41},$$

wenn c die specifische Wärme bei constantem Volumen und C die bei constantem Druck bezeichnet.

Für atmosphärische Luft ist also

$$c = \frac{0,2377}{1,41} = 0,1686$$

Ob für Wasserdampf das gleiche Verhältniss gilt, ist noch nicht mit Sicherheit festgestellt. Die Angaben der Autoren differiren zwischen 1,277 und 1,470, so dass als Mittelwerth sich wieder annähernd 1,41 ergiebt wie bei der Luft.

Für Kohlenoxydgas wird ebenfalls 1,41 angegeben, jedoch auch 1,426, für Kohlensäure 1,288 und 1,291.

§. 47.

Latente und freie Wärme nach der älteren und neuen Anschauung.

Nach den Grundsätzen der mechanischen Wärmetheorie sind die Ausdrücke latente und freie Wärme nicht sachgemäss. Sie werden trotzdem so bald nicht ausser Anwendung kommen, weil sie tief eingewurzelte, auch kurze und bequeme Bezeichnungen für verschwindende und zum Vorschein kommende Wärmemengen sind, desshalb auch von manchen Technikern und Schriftstellern noch angewendet werden, die keineswegs glauben, dass die ältere Vorstellung von dem Latentwerden und Freiwerden der Wärme dem wirklichen Vorgange entspricht.

Bei der Annahme, die Wärme sei eine Materie, deren Anhäufung oder Verminderung in einem Körper diesen im Allgemeinen wärmer oder kälter erscheinen lasse, lag es nahe, sich vorzustellen, eine bestimmte Menge von Wärmestoff verbinde sich mit dem festen Körper zu einem flüssigen und mit der Flüssigkeit zu Dampf und diese Verbindung sei so innig, dass die zum Schmelzen oder Verdampfen gelieferte Menge der Wärmematerie für das Gefühl verschwinde, weil sie eben gebunden werde. Ebenso war zu folgern, dass bei der Wiedererstarrung des geschmolzenen Körpers und bei der Wiederverdichtung der verdampften Substanz die gebundene Wärme wieder ausgeschieden,

frei werde. In einer materiellen Wärmetheorie war nach Analogie der chemischen Verbindungen und Zersetzungen, wobei gleichfalls die besonderen Eigenschaften der einzelnen Stoffe verschwinden und wieder zum Vorschein kommen, eine andere Vorstellung nicht wohl möglich.

Die ersten Untersuchungen über das Latentwerden oder die Absorption einer bestimmten Wärmemenge beim Schmelzen fester Körper sind im Jahre 1763 durch Black bekannt geworden.

Diese Erscheinung lässt sich allgemein, ohne Berücksichtigung einer bestimmten Wärmetheorie, in folgender Weise darlegen:

Die Schmelzung eines festen Körpers — man mag sich hierbei ein Stück Metall oder ein Stück Eis denken — geschieht bei einer ganz bestimmten Temperatur. Von dem Augenblicke an, wo die Schmelzung beginnt, ändert sich die Temperatur des festen Theiles nicht, so viel Wärme auch dem Körper mitgetheilt werden mag, und auch in dem bereits flüssig gewordenen Theile ist in unmittelbarer Nähe des schmelzenden Körpers keine Temperaturerhöhung wahrzunehmen, bis der feste Theil völlig flüssig geworden.

Bei dem Uebergange eines Körpers aus dem festen in den flüssigen Aggregatzustand wird also eine gewisse Wärmemenge absorbirt, die weder auf das Gefühl wirkt, noch sich durch ein Thermometer nachweisen lässt; sie ist verschwunden und bleibt im Körper gebunden, verborgen, latent, so lange der Körper im flüssigen Zustande bleibt, kommt aber wieder zum Vorschein, sobald der Körper wieder aus dem flüssigen in den festen Zustand zurück geht.

Dieses Latentwerden von Wärme beim Schmelzen erkennt man beispielsweise auch quantitativ, wenn man 1 Kilogramm Wasser von 80° C. (nach Anderen von 79° C.) und 1 Kilogramm Eis oder Schnee von 0° mit einander mischt. Man erhält in Folge des Schmelzens — wenn Wärmezuführung von aussen und Wärmeverlust nach aussen verhütet wird — 2 Kilogramm Wasser von 0°. Die grosse Wärmemenge also, welche in dem heissen Wasser die hohe Temperatur von 79 oder 80° erzeugt hatte, ist nun für unser Gefühl und für den Nachweis mittels des Thermometers verschwunden; sie hat aber eine mechanische Wirkung hervorgebracht, hat Eis oder Schnee von 0° in Wasser von 0° verwandelt. Man darf in nicht zu weiten Grenzen annehmen, dass immer eine gleich grosse Wärmemenge erforderlich ist, um die Temperatur eines und desselben Körpers um je einen Grad zu erhöhen, dass demnach die dem Wasser von 80° entzogene Wärme auch hinreichend gewesen wäre, um die Temperatur von 80 Kilogramm Wasser um einen Grad zu erhöhen.

Dass bei der Schmelzung durch Wärmezuführung von aussen auch in dem ganzen bereits flüssig gewordenen Theile keine Temperaturerhöhung nachzuweisen sei, bis der feste Theil vollkommen flüssig geworden, das ist nicht selten in Büchern zu lesen. Ein im Jahre 1876 in 14. Auflage erschienenes Lehrbuch der Physik enthält sogar die Behauptung: selbst wenn man Feuer unter das Gefäss mache, worin sich schmelzendes Eis befinde, bleibe doch die Temperatur des Wassers so lange auf 0° stehen, als noch ungeschmolzenes Eis vorhanden sei, die Wärme, welche dem Wasser während des Schmelzens zugeführt werde, bewirke keine Temperaturerhöhung.

Man kann sich aber durch den sehr einfachen Versuch, indem man ein Gefäss mit Schnee oder Eis in ein warmes Zimmer bringt, leicht überzeugen, dass in dem Schmelzwasser sehr verschiedene Temperaturen vorhanden sind; unmittelbar an dem schmelzenden Eise 0°, in der Nähe des Gefässbodens ungefähr 4° C, in dem übrigen Wasser 0° bis 10° und bei besonderer Erwärmung des Gefässes leicht noch viel höhere Temperaturen.

Wie beim Schmelzen fester Körper, so wird auch beim Verdampfen tropfbar flüssiger Substanzen eine grosse Menge von Wärme latent. Wasser in Dampf verwandeln heisst: die kleinsten Wassertheilchen so weit von einander entfernen, dass die Molekular-Anziehung nicht mehr in höherem Grade zur Wirkung kommt, als dieses im elastisch flüssigen Zustande zulässig ist.

Verliert der Dampf den zu seiner Existenz in Gasform nothwendigen Theil der Wärme wieder, wird diese latente Wärme wieder frei, so wird der Dampf durch das Näherrücken der Moleküle wieder zu Wasser.

In Folge des Latentwerdens freier Wärme in entsprechender Menge wird Wasser verdampft, und in Folge des Freiwerdens latenter Wärme wird Dampf condensirt.

Oder auch: bei der Verdampfung wird Wärme gebunden, unter Umständen in der Umgebung Kälte erzeugt, bei der Condensation wird Wärme frei, die Temperatur der Umgebung erhöht.

So lauten die üblichen älteren Darlegungen in Betreff der latenten und freien Wärme.

Nach der Anschauungsweise der mechanischen Wärmetheorie ist aber die sogenannte latente Wärme, als Schmelzwärme oder Verdampfungswärme, überhaupt nicht mehr in den Substanzen vorhanden; sie ist auf Arbeit verwendet, verbraucht. Die beim Erstarren des Wassers oder bei der Condensation des Dampfes wieder zum Vorschein kommende, sogenannte freie Wärme ist nicht die vorher schon vorhandene und nur

verborgene, sondern neue, durch geleistete Arbeit erst entstandene Wärme.

Wärme wird zu Arbeit verbraucht für die Ueberwindung der Cohäsion der Moleküle und des äusseren Drucks bei der Ausdehnung der Substanz. Erstere Arbeit, die innere Arbeit, ist bei den elastisch flüssigen Substanzen ausserordentlich gering, um so grösser aber ist bei diesen die äussere Arbeit wegen der bedeutenden Ausdehnung durch Wärmezuführung bei veränderlichem Volumen. Fast umgekehrt ist es bei den tropfbar flüssigen und starren Körpern.

Im Allgemeinen bildet die Function, mit Ueberwindung des äusseren Drucks die Substanz in den Zustand der leichteren Verschieblichkeit der Theilchen zu versetzen, das mechanische Aequivalent der Wärmeäusserung, und diese erscheint wieder als das thermische Aequivalent jener mechanischen Function, wenn die elastisch flüssige Substanz tropfbar flüssig und diese starr wird.

Die nothwendige Berücksichtigung der äusseren Arbeit führt unmittelbar darauf, dass auch ohne Aenderung des Aggregatzustandes bei der Ausdehnung eines Köpers Wärme verschwinden, als Arbeit verbraucht werden muss, die man also consequent ebenfalls latente Wärme nennen müsste, wenn diese Bezeichnung überhaupt sachgemäss wäre.

§. 48.

Die sogenannte latente Wärme des Wassers und Wasserdampfes.

Im vorigen Paragraph ist bereits durch das Beispiel des schmelzenden Eises dargethan, dass die sogenannte latente Wärme des Wassers, die Schmelzwärme des Eises 80 Calorien beträgt, oder nach Anderen 79 Calorien.

Die Grösse dieser Verflüssigungswärme des Eises ist vielfach von praktischer Wichtigkeit, in diesem Buche namentlich für die Construction von Luftkühlungsapparaten.

Von noch grösserer Wichtigkeit ist die Grösse der Verdampfungswärme des Wassers, die sogenannte latente Wärme des Dampfes. Diese Verdampfungswärme ist viel grösser als die Verflüssigungswärme; aber die dafür von verschiedenen Experimentatoren angegebenen Werthe gehen noch weiter aus einander, was bei der viel grösseren Schwierigkeit der Versuche erklärlich ist.

Die latente Wärme des Wasserdampfes ist bei 100° C. nach Watt 540; mit anderen Worten: 1 Kilogramm Wasser von 100° nimmt, wäh-

rend es sich in Dampf von 100° verwandelt, 540 Calorien auf. Ausserdem enthält 1 Kilogramm Wasser von 100° noch 100 Calorien über der in dem Wasser von 0° enthaltenen Wärmemenge als freie oder sensible Wärme, so dass einem Kilogramm Wasser von 0° im Ganzen 640 Calorien mitzutheilen sind, um es in Dampf von 100° zu verwandeln. Ferner wird noch vielfach nach Watt angenommen, dass die Gesammtwärme von 640 Calorien nicht bloss dem Wasserdampf von 100° zukomme, sondern dem Wasserdampf überhaupt bei jeder Spannung und Temperatur, dass also 640 eine constante Zahl sei.

Demnach müsste mit Zunahme der freien Wärme des Wasserdampfes, also mit der durch das Thermometer zu erkennenden Temperaturerhöhung, der Gehalt an latenter Wärme abnehmen, und umgekehrt.

Dampf von 200° könnte nur 440 Calorien gebundener Wärme enthalten und im Dampf von 20° müssten 620 Calorien latent vorhanden sein.

Genauer sind die Angaben von Regnault.

Bezeichnet λ die Gesammtwärme, welche einem Kilogramm Wasser von 0° zuzuführen ist, wenn es in Dampf von t^0 C. verwandelt werden soll, so ist nach Regnault:

$$\lambda = 606,5 + 0,305\, t.$$

Die Verdampfungswärme ergiebt sich als Rest, wenn man von der Gesammtwärme die Flüssigkeitswärme subtrahirt.

Unter Flüssigkeitswärme des Dampfes von t^0 ist die Wärmemenge zu verstehen, welche nöthig ist, um die Temperatur von einem Kilogramm Wasser von 0° auf t^0 zu bringen.

Wo es auf grosse Genauigkeit nicht ankommt, kann man die Zahl der Calorien der Flüssigkeitswärme einfach gleich der Zahl der Temperaturgrade setzen, also $= t$, wonach die mit r bezeichnete Verdampfungswärme wäre:

$$r = 606,5 + 0,305\, t - t$$
$$r = 606,5 - 0,695\, t$$

Für genauere Berechnungen ist zu berücksichtigen, dass wegen des Wachsens der specifischen Wärme des Wassers mit der Temperatur die Flüssigkeitswärme q grösser ist, nämlich nach Regnault's Versuchen:

$$q = t\,(1 + 0,00002\, t + 0,0000003\, t^2)$$
$$q = t + 0,00002\, t^2 + 0,0000003\, t^3,$$

und nach Abzug dieser von der obigen Gesammtwärme ist die Verdampfungswärme:

$$r = \lambda - q = 606,5 - 0,695\, t - 0,00002\, t^2 - 0,0000003\, t^3.$$

Folgende Zusammenstellung macht den Unterschied der Watt'schen und Regnault'schen Werthe anschaulich:

Gesammtwärme und Verdampfungswärme des Wasserdampfes.

Temperatur Grade Celsius.	Nach Regnault.		Nach Watt.	
	Gesammtwärme λ	Verdampfungswärme r	Gesammtwärme λ	Verdampfungswärme r
50°	620,75	571,66	640	590
100	637,00	537,00	640	540
200	667,50	464,30	640	440

Es ist also um so weniger Wärme aufzuwenden um Wasser vom Siedpunkt aus in Dampf überzuführen, je höher der Siedpunkt liegt.

§. 49.

Absoluter Nullpunkt der Temperatur. Die sogenannten permanenten Gase.

Die Gesammtwärme in vorstehender Tabelle soll diejenige Wärmemenge bedeuten, welche der Dampf über derjenigen enthält, die er als Wasser von 0° haben würde.

Die wirkliche Gesammtwärme einer Substanz könnte man nur berechnen, wenn der absolute Nullpunkt der Temperatur und das Gesetz der Wärmeabnahme der Substanz bis zu dieser niedrigsten Temperatur bekannt wäre.

Es wird angenommen, die absolute Nulltemperatur liege bei 273° C. unter dem Gefrierpunkt, weil der Ausdehnungscoëfficient der Luft 0,003665 oder ungefähr $\frac{1}{273}$ ist und folglich das Volumen v einer Luftmenge, deren Volumen $= V$ bei 0° ist, bei der Temperatur — 273° C. sein würde:

$$v = V\left(1 - 273 \cdot \frac{1}{273}\right) = 0,$$

also verschwindend klein. Kleiner kann das Volumen nicht werden, also ist auch die Luft in einem noch kälteren Zustande nicht denkbar, und überhaupt kann die Abkühlung nicht weiter fortgehen.

Als überzeugend wird diese Auffassung nicht wohl gelten können; denn man wird die Möglichkeit, dass das Volumen der Luft oder irgend

einer Substanz, deren Menge wir noch bei 0°, als dem Gefrierpunkte des Wassers, innerhalb endlicher Grenzen beliebig gross, also sehr gross annehmen dürften, jemals Null oder verschwindend klein werden könne, schwer einräumen.

Plausibeler wird dasselbe Resultat bei der Vorstellung, dass die Luft bei constantem Volumen abgekühlt werde.

In gleichem Raume sind die Veränderungen des Wärmeinhalts den Veränderungen der Spannung proportional. Die Spannkraft aber nimmt während der Temperaturverminderung in dem Verhältniss ab, wie unter constantem Druck das Volumen abnehmen würde, und bei — 273° C. ist alsdann die Spannkraft Null, die Schwingungen, in welchen die Wärme besteht, hören auf, es ist kein Schwingungszustand der Moleküle, keine Wärme mehr vorhanden.

Hierbei ist die atmosphärische Luft als ein permanentes Gas vorausgesetzt.

Im strengen Sinne des Wortes ist aber weder die atmosphärische Luft noch irgend eine andere elastische Flüssigkeit ein permanentes, d. h. unter allen Umständen so bleibendes Gas.

Schon aus theoretischen Gründen muss man schliessen, dass alle starren Körper bei gewissen hohen Hitzegraden flüssig werden, sowie dass alle Gase coërcibel sind, durch Druck und Abkühlung verflüssigt und fest werden können.

Diese Behauptung habe ich bereits 1860 in der ersten Auflage dieses Buches auf Seite 39 ausgesprochen.

Längst bekannt ist, dass Hall Marmor und mehrere vulkanische Substanzen geschmolzen hat, und die Coërcibilität der sogenannten permanenten Gase ist ebenfalls, allerdings erst in neuester Zeit, experimentell nachgewiesen worden.

Am 16. December 1877 hat L. Cailletet zu Paris bei einer Temperatur von — 200° C. und einem Drucke von 300 Atmosphären Sauerstoff und Kohlenoxydgas verflüssigt, und am letzten December 1877 ist ihm die Verflüssigung des Wasserstoffs, Stickstoffs und der atmosphärischen Luft gelungen.

Gleichzeitig und in ähnlicher Weise experimentirend hat Raoul Pictet am 22. December 1877 bei — 140° C. und 320 Atmosphären Sauerstoff verflüssigt, am 9. Januar 1878 die Verflüssigung und Erstarrung des Wasserstoffs zu Stande gebracht und im flüssigen Strahl des Sauerstoffs feste Staubtheilchen, sehr wahrscheinlich kleine Krystalle festen Sauerstoffs, wahrgenommen, später Sauerstoff unzweifelhaft in den festen Zustand übergeführt.

Danach ist es unwahrscheinlich, dass der absolute Nullpunkt der Temperatur in der Nähe von — 273° C. liegt, was jedoch für die in diesem Buche zu behandelnden Gegenstände ohne Belang ist.

§. 50.

Allgemeines von der Fortpflanzung der Wärme.

Ist Wärme an irgend einer Stelle in einen Körper eingedrungen, so dringt sie allmählich von Molekül zu Molekül weiter vor. Ebenso dringt sie aus einem wärmeren Körper in einen ihn berührenden kälteren ein. Diese Art der Wärmefortpflanzung nennt man Wärmeleitung.

Die Wärme geht aber auch durch den sogenannten leeren Raum, der mit Weltäther angefüllt ist, und durch die Luft von einem Körper zum andern über, durchdringt auch, gleichwie das Licht manche festen Körper und Flüssigkeiten, so z. B. die Sonnenwärme eine Flasche mit Wasser. Diese Fortpflanzungsweise heisst Wärmestrahlung.

Die Vorgänge der beiden Fortpflanzungsweisen mögen hier kurz nach der mechanischen Wärmetheorie betrachtet werden.

Die als Wärme auftretende Bewegung des Aethers und der körperlichen Atome muss auch Bewegung in anderen Körpern und Medien bewirken; sie setzt den Aether in schwingende Bewegung, bringt in dem umgebenden Raume und in flüssigen wie starren Körpern, die mit dem warmen Körper in Berührung stehen, jene Schwingungen hervor, die als Wärme bezeichnet werden.

Während ein Körper das ihn umgebende Medium oder die ihn berührenden Körper in heftigere Wärmeschwingungen versetzt, verrichtet er eine Arbeit, welche seine eigene Wirkungsfähigkeit vermindert, er verliert Wärme.

Man sagt, die Wärme werde durch Strahlung oder als strahlende Wärme übergeführt, wenn dabei vorzugsweise Aetherschwingungen zwischen dem wärmeren und dem damit nicht in Berührung stehenden kälteren Körper erregt oder vermehrt werden; dagegen durch Leitung, wo die Schwingungen körperlicher Atome auf andere damit in Berührung stehende übertragen werden, wenn auch durch Vermittlung von Schwingungen des die Atome und Moleküle umhüllenden Aethers.

Da jeder Körper selbst bei der tiefsten vorkommenden Temperatur eine gewisse Wärmemenge in sich hat, so sind auch die Moleküle eines jeden beständig in Bewegung und müssen auf den Bewegungszustand der sie umgebenden Materie Einfluss haben. Ist ihre mechanische Wir-

kungsfähigkeit grösser, so vermehren sie die Bewegung in der anderen Materie; hiezu ist aber bei gleicher oder geringerer Wirkungsfähigkeit keine Ursache vorhanden. Es kann also die Wärme nicht aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen.

Die Zusammenstellung von Wärmeleitungs-Coëfficienten, wie man sie in physikalischen Lehrbüchern findet, unterbleibt hier, weil deren directe Anwendung leicht zu unrichtigen Resultaten führen könnte, und bei Berechnungen der Wärmegewinnung und der Wärmeverluste die weiter mit der Wärmefortpflanzung in Verbindung stehenden Vorgänge, wie Reflexion, Absorption, Emission, Transmission, zu berücksichtigen sind, welche zweckmässiger in den Abschnitten über Heizung und Ventilation, wo sie von praktischer Wichtigkeit sind, zur Besprechung gelangen. Hier möge nur Einiges noch von allgemeinerer Wichtigkeit über Wärmeleitung und Wärmestrahlung Erwähnung finden.

§. 51.

Gute und schlechte Wärmeleiter.

Wie man aus obiger Anschauung erkennt, kann einem Körper nur dann Wärme von seiner Umgebung entzogen werden, wenn die Temperatur derselben geringer ist, und die Wärmeentziehung geschieht um so schneller, je grösser die Temperaturdifferenz ist, wenn nämlich hiebei dieselben Körper beibehalten werden. Dagegen kann bei denselben Temperaturdifferenzen der Uebergang der Wärme aus einem Körper in einen anderen, die Ausgleichung der Temperaturen, je nach der Verschiedenheit der Körper eine sehr verschiedene Zeitdauer beanspruchen. Es ist sehr natürlich, dass der Uebergang der Wärme aus einem Körper in den anderen in directem Zusammenhange steht mit der Fortpflanzung der Wärme in den Körpern selbst, und dass bei dieser Fortpflanzung die Stärke der Atomanziehung hauptsächlich von Einfluss ist. Aus diesem Einfluss erklären sich die durch die Erfahrung bekannten Thatsachen: dass die Fortpflanzung der Wärme bei Metallen, zumal in dichtem Zustande, am schnellsten, in nichtmetallischen, besonders porösen Körpern am wenigsten schnell vor sich geht, wesshalb man auch jene gute, diese dagegen schlechte Wärmeleiter nennt; dass insbesondere Sand, Erde, Holz, Kohle, Asche, Papier, Wolle, Seide, Haare, Stroh u. s. w. sehr schlechte Wärmeleiter sind.

Auch tropfbarflüssige und elastischflüssige Körper sind schlechte Wärmeleiter, aber nur, wenn sie von oben erwärmt werden; durch die Erwärmung von unten nämlich werden die erwärmten, ausgedehnten, specifisch leichter gewordenen Theile von den kälteren, dichteren, specifisch schwereren darüber liegenden nach hydrostatischen Gesetzen verdrängt und gehoben, wodurch bei anhaltender Erwärmung ein ununterbrochener Kreislauf entsteht, welcher eine schnelle Verbreitung der Wärme durch die ganze Menge der tropfbaren Flüssigkeit oder der Luftmasse veranlasst. Dieselbe Circulation ist auch bei eben diesen Körpern die Ursache der schnellen Abkühlung, wenn solche von oben her stattfindet.

Die auf diese Weise in flüssigen Körpern erfolgende Verbreitung der Wärme bezeichnet man häufig als die Verbreitung durch Strömung, und unterscheidet hievon die Wärmeverbreitung durch Berührung oder Leitung. Dass die Verbreitung durch Strömung zugleich eine Verbreitung durch Berührung ist, unterliegt keinem Zweifel; überhaupt dürften sich ganz bestimmte Grenzen zwischen den genannten Fortpflanzungsweisen der Wärme schwer festsetzen lassen.

Bei manchen festen Körpern ist die Wärmeleitung von dem Gefüge der Theilchen abhängig; so leitet das Holz die Wärme besser nach der Richtung seiner Längenfasern, als in der darauf senkrechten Richtung.

§. 52.

Untersuchungen über die Intensität der strahlenden Wärme.

Das Gesetz der Wärmeverbreitung durch Strahlung wurde zuerst von Ritchie und Melloni angegeben und ist in folgender Form als Melloni'sches Gesetz bekannt:

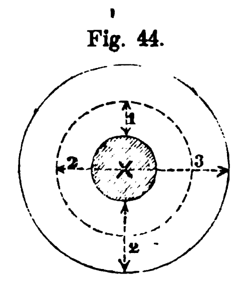
Die Intensität der Wärmestrahlung nimmt im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung von der Wärmequelle ab. Versteht man unter Wärmequelle einen sehr kleinen erhitzten Körper, welcher den Mittelpunkt der Strahlung oder der kugelförmigen Wellenbewegung bildet, in welcher die Intensität in Vergleich gezogen wird, so ist diese Annahme jedenfalls zulässig; ausserdem aber sind die speciellen Verhältnisse von modificirendem Einflusse. Um dieses deutlich zu machen, mögen einige Untersuchungen dieser Art folgen:

Giebt man den von einem erhitzten Körper ausgehenden Wärmestrahlen eine nahezu parallele Richtung, indem man den er-

hitzten Körper, der als sehr klein vorausgesetzt wird, in den Brennpunkt eines Hohlspiegels bringt, und fängt man nun durch irgend einen Gegenstand in verschiedenen Entfernungen von der Wärmequelle diese parallelen Wärmestrahlen auf, so muss bei grösserer Entfernung die Intensität der Strahlen bei Weitem grösser gefunden werden, als nach der Proportion des erwähnten Gesetzes; ja sie müsste, abgesehen von den direct von der Wärmequelle nach dem Körper gerichteten Strahlen, bei vollkommen parallelen Strahlen in beliebiger Entfernung immer gleich sein, wenn man, was wohl principiell gestattet ist, die Strahlung im leeren Raume, im Aether selbst voraussetzt.

Man denke sich ferner eine Kugel, deren Durchmesser 2 Centimeter betragen mag, als den wärmestrahlenden Körper und bestimme, mit welcher Intensität die Strahlung in der Entfernung 1 Centimeter und 2 Centimeter von der Oberfläche der strahlenden Kugel auf zwei concentrische Kugelflächen wirkt, welche nach einander unter denselben Umständen angebracht seien (Fig. 44). Es werde die hiebei sehr nahe liegende Annahme gemacht, dass die Entfernungen 1 und 2 Centimeter als die Entfernungen der zu erwärmenden Kugelflächen von der Wärmequelle gelten.

Fig. 44.



Bezeichnet man die Intensität in der kleineren Entfernung mit I, in der grösseren Entfernung, wo dieselbe jedenfalls geringer ist, mit i, so hat man die Proportion:

$$I : i = 2^2 : 1^2 = 4 : 1;$$

$$\text{daraus ist } i = \tfrac{1}{4} I.$$

Bezeichnet man ferner mit k die Kugelfläche von dem Halbmesser 2 Centimeter, mit K die Kugelfläche von dem Halbmesser 3 Centimeter, so hat man auch:

$$k : K = 2^2 : 3^2 = 4 : 9; \text{ daraus } K = \tfrac{9}{4} k.$$

Die totale Strahlenwirkung ist in jedem Falle das Product aus der Ausdehnung der Kugelfläche und der Wirkung auf die Flächeneinheit oder der Intensität; und wenn man diese Totalwirkungen beziehungsweise mit T und t bezeichnet, so ergiebt sich für dieselben, im gegenseitigen Verhältnisse betrachtet, die Proportion:

$$T : t = kI : Ki = kI : \tfrac{9}{4}k \,.\, \tfrac{1}{4}I$$

$$T : t = 1 : \tfrac{9}{16} \text{ oder auch}$$

$$T : t = 1 : (1 - \tfrac{7}{16}).$$

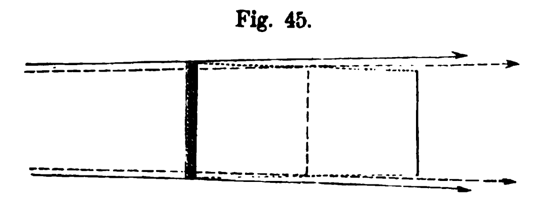
Da nun nicht einzusehen ist, wohin dieser Verlust von $\tfrac{7}{16}$ der Wärmewirkung verschwunden sein soll, so ist obiges Gesetz hier

offenbar unrichtig angewendet. In diesem Falle erhält man ein richtiges Resultat, wenn man die Entfernungen vom Mittelpunkte der erhitzten Kugel als die Entfernungen von der Wärmequelle einführt.

Wie aber, wenn man die Form der Wärmequelle oder des zu erwärmenden Körpers anders annimmt? Gesetzt, eine erhitzte Platte sei einmal von einer anderen ebenen Fläche in der Entfernung 1 Meter aufgestellt und dann in doppelter Entfernung (Fig. 45); wo soll nun der Mittelpunkt liegen, von welchem aus die in die Proportion einzuführenden Entfernungen zu nehmen sind?

Man könnte vielleicht sagen: die ebene Fläche der strahlenden Platte lässt sich als Theil einer Kugelfläche betrachten, deren Mittelpunkt in unendlicher Entfernung liegt. Bei einer so grossen Entfernung verschwinden aber die geringen Entfernungen von 1 Meter und 2 Meter,

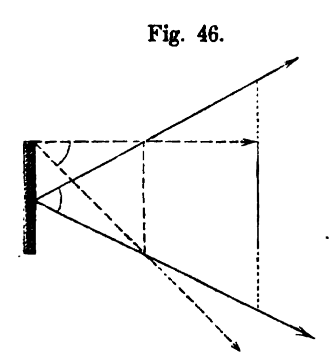
Fig. 45.



so dass die ganzen Entfernungen, somit auch die Intensitäten als gleich anzunehmen wären, was jedoch entschieden unrichtig ist. In Fig. 45 ist der Mittelpunkt in einer Entfernung angenommen, die etwa der 15fachen Höhe der Platte gleich ist. Man sieht, dass schon bei dieser Entfernung der Unterschied der Intensitäten viel zu gering sich ergiebt.

Am nächsten liegt nun der Gedanke, die strahlende Fläche als eine Summe von vielen sehr kleinen Facetten zu betrachten, jede Facette wieder als den Ursprung eines Systems von Kugelwellen, und die Wirkungen aller dieser Kugelwellen zu summiren. Hiebei wird der elementare oder logische Weg schon auf ein unstreitig richtiges Resultat führen (Fig. 46).

Fig. 46.

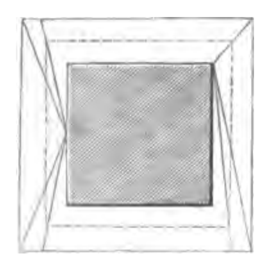


Die Wärmemenge, welche von jeder Facette aus in Kugelwellen sich ausbreitet, bildet nach der Seite der zu erwärmenden Fläche einen Strahlenkegel, dessen Basis jene Fläche ist; in doppelter Entfernung ist die Basis desselben fortgesetzten Strahlenkegels 4mal so gross; folglich die Strahlenwirkung auf die Fläche von der vorigen Grösse nur $^1/_4$ von der Wirkung in einfacher Entfernung, weil eben nur der vierte Theil der bestimmten Anzahl von Strahlen die Fläche trifft.

Da dieses für die Strahlenwirkung von jeder einzelnen Facette aus gelten muss, so gilt es auch für die Gesammtwirkung. In diesem Falle kann man also richtig sagen: die Intensität der Wärmestrahlen nimmt im Verhältnisse des Quadrats der Entfernung von der Wärmequelle ab.

Wollte man aber, auf den letzten Fall gestützt, die von einem erhitzten Würfel ausgehende Wärmestrahlung auf zwei denselben umgebende verschieden grosse Hohlwürfel berechnen (Fig. 47), so würde man leicht ein ebenso ungereimtes Resultat erhalten wie im ersten Falle bei der erhitzten Kugel. Denn es ist nun zu beachten, dass im vorausgehenden Falle $^3/_4$ von den Wärmestrahlen, welche die nähergestellte Fläche trafen, bei der doppelten Entfernung in den Raum gingen, während nun sämmtliche Wärmestrahlen im Würfel aufgefangen werden, und die Strahlen, die auch nicht mehr eine mit der strahlenden Würfelseite parallele Fläche treffen, doch auf die mit dieser Seite zusammenstossenden Flächen gelangen.

Fig. 47.



Die vorliegenden Fälle mögen schon hinlänglich zeigen, wie leicht man auf irrige Resultate kommen kann, wenn man das Melloni'sche Gesetz in seiner gewöhnlichen Form blindlings zur praktischen Anwendung bringen will. Solche Fehler wird man leicht erkennen und vermeiden, wenn man bedenkt, dass ein eigentlicher Verlust an Energie, also hier an übergeführter Wärme unmöglich ist.

Bei Versuchen hat man ferner die Wärmecapacität der Körper, die Reflexion der Strahlen, die Absorption der Wärme durch Luftströmungen u. dgl. zu berücksichtigen. Ebendesshalb dürfte es aber kaum möglich sein, jene theoretischen Schlüsse vollkommen genau durch Versuche zu bestätigen. In hohem Grade jedoch, und wohl in hinlänglich hohem Grade stimmen die von Ritchie und Melloni angegebenen Versuchsresultate mit der Theorie überein.

Die Untersuchungen über Wärmestrahlung sind für die Anordnung von Feuerungsanlagen, speciell für die Einrichtung der Heizkammer bei der Luftheizung von Wichtigkeit, und werden weiter unten zur praktischen Berücksichtigung kommen.

Nur noch einige Worte über die Absorption der strahlenden Wärme durch die atmosphärische Luft mögen hier Platz finden.

Dass die Luft nicht nur durch Berührung mit erhitzten festen Körpern, sondern auch durch Wärmestrahlen erwärmt werde, und dass sie

um so mehr Wärme absorbirt, je dichter sie ist, das haben die Untersuchungen der Physiker bestätigt.

Forbes fand, dass die Sonnenwärme, wobei wir wohl die Strahlen für die verhältnissmässig geringen Entfernungen und Höhen an unserer Erdoberfläche als parallel annehmen dürfen, an der Oberfläche der Erde ungefähr noch 0,8 von der Intensität besitzt, welche sie in einer Höhe von nahezu 2000 Meter hat. Ferner fand Pouillet mittels seines Pyroheliometers, dass drei Viertel von der Wärme der gegen die Erde gerichteten Strahlen der Sonne zum Boden der Erde gelangen, dass also ein Viertel von der Luft absorbirt wird. Auch Ramond hat die Hitze im Brennpunkte eines Hohlspiegels auf hohen Gebirgen grösser gefunden als in Thälern.

Die viel verbreitete Ansicht, dass die Luft die Wärmestrahlen ungeschwächt durch sich hindurchlasse, ist also streng genommen nicht richtig; aber die Absorption ist unbedeutend genug, um in praktischer Hinsicht, bei Heizanlagen, die Annahme eines vollständigen Durchgangs der Wärmestrahlen durch die Luft zu gestatten.

Auch ist die Verbreitung der Wärme durch Strahlung auf die grössten Entfernungen hin als eine augenblickliche anzunehmen; denn die Geschwindigkeit der Wärmestrahlung ist, wie die des Lichts, in einer Secunde mehr als 40000 geographische Meilen.

Vierter Abschnitt.

Die atmosphärische Luft, ihre Feuchtigkeit und ihre Bewegungen.

---

§. 53.

Die atmosphärische Luft als physisch-körperliche Flüssigkeit. Atmosphärendruck. Mariotte'sches Gesetz.

Atmosphäre bedeutet im Allgemeinen Dunstkugel, Luftkugel. Die Atmosphäre der Erde ist die Gesammtmasse jener farblosen, höchst elastischen Flüssigkeit, welche wir Luft nennen, oder bestimmter atmosphärische Luft. Die Luft erfüllt nicht den ganzen Weltraum, sondern ist, wie eine Hülle um den festen Erdball diesem eigenthümlich, bewegt sich mit demselben um die Erdachse und um die Sonne. In der Luft bewegen wir uns fortwährend auf der Erde, und wir fühlen uns durch die Luft, wenigstens bei ruhiger Luft, in unseren Bewegungen nicht gehindert. Daraus lässt es sich erklären, dass man bis vor etwa zwei Jahrhunderten von einem Gewichte der Luft Nichts wusste. Erst im Jahre 1643 wurde durch Toricelli nachgewiesen, dass die Luft, wie andere Flüssigkeiten den Gesetzen der Schwere unterworfen sei, dass es folglich einen Luftdruck gebe.

Toricelli füllte nämlich eine etwas über 1 Meter lange, an dem einen Ende geschlossene Glasröhre mit Quecksilber, hielt mit dem Finger das offene Ende zu und brachte es so unter die Oberfläche einer mit Quecksilber gefüllten Schale. Sogleich sank das Quecksilber in der Röhre, jedoch nur so tief, dass es in der Röhre noch fast 760 Millimeter höher stand als in der Schale. Wodurch wurde nun aber die 760 Millimeter hohe Quecksilbersäule in der Röhre getragen? Ohne Zweifel durch eine äussere Kraft, welche eben so gross war als die auf die

ganze Quecksilbersäule wirkende Schwerkraft, und diese äussere Kraft konnte keine andere sein, als der durch die Schwere der Luft an der Oberfläche des Quecksilbers in der Schale verursachte Druck, welcher sich auf die Quecksilbersäule in der Röhre fortpflanzte, und daselbst der Wirkung der Schwere im Quecksilber entgegen, vertical aufwärts wirkend, der Quecksilbersäule das Gleichgewicht halten musste.

Die Atmosphäre und die mit Quecksilber gefüllte Röhre lassen sich als communicirende Gefässe betrachten. In communicirenden Gefässen müssen sich die Höhen der gegenseitig im Gleichgewicht stehenden Flüssigkeiten umgekehrt verhalten, wie die specifischen Gewichte der Flüssigkeiten. Das specifische Gewicht des Quecksilbers, auf Wasser als Einheit bezogen, ist 13,596. Denkt man sich nun statt der Atmosphäre oder Luftsphäre eine aus Wasser gebildete Sphäre, welche denselben Druck auf das Quecksilber ausübt, wie erstere, dasselbe also wieder in einer Höhe von 760 Millimeter erhält, so ergiebt sich die Höhe H dieser Wassersphäre oder Wasserschicht über der Oberfläche des Quecksilbers in der Schale aus der Proportion:

$$H : 760 = 13{,}596 : 1;$$

daraus ist

$$H = 10333 \text{ Millimeter oder } 10{,}333 \text{ Meter.}$$

Der Druck der Luftsphäre wirkt demnach ebenso, wie eine Wassersphäre von $10\frac{1}{3}$ Meter Höhe.

Ist durch den Toricelli'schen Versuch nun auch hinlänglich dargethan, dass die Luft die Eigenschaft der Schwere besitzt, so kann man daraus das Gewicht für ein gewisses Volumen der Luft dennoch nicht ermitteln; denn selbst unter der Voraussetzung, dass die Atmosphäre in jeder Höhe gleiche Dichte hätte, und dass auf Wasser als Einheit bezogen ihr specifisches Gewicht gesucht werden soll, so hat man, wenn dieses specifische Gewicht mit x und die Höhe der Atmosphäre mit H bezeichnet wird, die Proportion:

$$H : 760 = 13{,}596 : x, \text{ und daraus}$$

$$x = \frac{13{,}596 \;.\; 760}{H} \text{ Millimeter.}$$

Es müsste nun das specifische Gewicht x der Luft sehr gross sein, wenn die Höhe H der Atmosphäre sehr gering wäre, und umgekehrt. Aus dieser einen Gleichung lässt sich somit keine der beiden unbekannten Grössen x und H bestimmen.

Man kann aber das Gewicht für ein gewisses Volumen Luft geradezu durch Wägung finden. Mit Hülfe der Luftpumpe

wird die Luft aus einem Gefässe möglichst entfernt, so dass dasselbe als luftleer angenommen werden kann. Die Wägung zeigt, dass das Gefäss nun weniger wiegt, als wenn dasselbe mit Luft gefüllt ist. Auf diese Weise hat man gefunden, dass ein Cubikmeter Luft bei einer Temperatur von 0° und unter dem vollständigen Atmosphärendruck oder bei 76 Centimeter Quecksilberhöhe des Barometers 1,293 Kilogramm wiegt.

Danach kann man das specifische Gewicht x der Luft, auf Wasser als Einheit bezogen, bestimmen. Da sich die specifischen Gewichte zweier Substanzen wie die absoluten Gewichte für dasselbe Volumen, also für 1 Cubikmeter, verhalten, 1 Cubikmeter Wasser von der normalen Dichtigkeit aber 1000 Kilogramm wiegt, so gilt die Gleichung:

$$x : 1 = 1{,}293 : 1000;$$

daraus ist

$$x = 0{,}001\,293.$$

Dieses ist das specifische Gewicht der Luft von 0° unter dem Atmosphärendrucke von 760 Millimeter Barometerstand auf Wasser als Einheit bezogen, zugleich das absolute Gewicht von 1 Liter Luft in Kilogramm und von 1 Cubikcentimeter Luft in Gramm. In §. 11 ist hiefür der noch genauere Werth 0,001 293 18 angegeben. Etwas weniger genau kann man schreiben $\frac{1}{773}$, das heisst: Wasser hat ungefähr 773 mal so viel Gewicht als ein gleiches Volumen Luft. Gewöhnlich setzt man 770 statt 773, was bei Rechnungen, die keine grosse Genauigkeit verlangen, zulässig ist, wie auch 1,3 Kilogramm als Gewicht von 1 Cubikmeter Luft.

Wegen des gewöhnlich geringeren Luftdrucks und der im Folgenden zu erörternden Einflüsse der Temperatur und Feuchtigkeit ist jedoch die Annahme eines kleineren Luftgewichts mehr gerechtfertigt, nämlich die Annahme des specifischen Gewichts der Luft, auf Wasser als Einheit bezogen

$$\frac{1}{800} = 0{,}001\,25$$

und folglich das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft = 1,25 Kilogramm. Diese Werthe darf man praktischen Berechnungen am häufigsten zu Grunde legen.

Aus Obigem geht hervor, dass die Höhe der Atmosphäre, wenn die Luft in der ganzen Höhe von gleichmässiger Dichtigkeit wäre, nicht grösser sein würde als

$$773 \,.\, 10{,}333 = 7987 \text{ Meter}$$

oder nicht viel mehr als eine geographische Meile. Wegen der nach

oben abnehmenden Dichtigkeit aber ist die Atmosphärenhöhe viel grösser; man hat sie auf 10 bis 12 geographische Meilen berechnet.

Bei höherer Temperatur ist das Gewicht für dasselbe Volumen geringer. Die reine trockene Luft dehnt sich unter dem constanten Atmosphärendrucke durch die Erwärmung bei jedem Grade des hunderttheiligen Thermometers um 0,003 665 ihres Volumens von 0° aus. Diese Zahl nennt man den Ausdehnungscoëfficienten der Luft. Aus einem Cubikmeter Luft von 0° hat man demnach bei t^0 C.:

$$1 + 0{,}003\,665\, t \text{ Cubikmeter;}$$

folglich bei 100° C.: 1,3665 Cubikmeter.

Da bei dieser Ausdehnung das Gewicht der Masse, das Product aus dem Volumen und dem betreffenden Gewichte der Volumeneinheit sich nicht geändert hat, so besteht die Gleichung:

$$1 \,.\, 1{,}293 \text{ Kilogramm} = 1{,}3665 \,.\, x \text{ Kilogramm,}$$

worin x das Gewicht von einem Cubikmeter der auf 100° C. erhitzten Luft bezeichnet, und dieses ist sonach:

$$x = 0{,}946 \text{ Kilogramm.}$$

Setzt man das Gewicht der Volumeneinheit der Luft bei 0° gleich 1, und bezeichnet den Coëfficienten der Ausdehnung für 1° C., nämlich die Zahl 0,003665 mit a, so wird das specifische Gewicht x der Luft bei t^0 C. und bei unverändertem äusseren Drucke durch die Gleichung gefunden:

$$1 \,.\, 1 = (1 + at)\, x$$

daraus ist

$$x = \frac{1}{1 + at}$$

Setzt man z. B. $t = 100$, so hat man

$$x = \frac{1}{1{,}3665} = 0{,}7318.$$

Das specifische Gewicht der auf 100° C. erwärmten Luft bei einem Luftdrucke von 76 Centimeter Quecksilberhöhe ist somit die Zahl 0,7318 auf die Luft von 0° bei demselben Drucke als Einheit bezogen.

Hiemit ist hinlänglich dargethan, dass die atmosphärische Luft eine schwere Flüssigkeit und zwar von veränderlichem specifischen Gewichte ist. Die allgemeinen Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper müssen folglich auch für Luft und für das gegenseitige Verhalten von Luftmassen gelten, die verschiedene Temperatur haben. Das Alles ist in der Physik nicht neu. Dennoch hat man noch in neuerer Zeit die

Annahme des Luftdrucks ins Lächerliche gezogen und der Welt mit scheinbar wissenschaftlichen Gründen beweisen wollen, es gebe keinen Luftdruck! Wie jede Flüssigkeit, so muss auch die Luftflüssigkeit von allen Seiten auf die von ihr umgebenen Körper drücken, und zwar, wie erwähnt, mit einer Kraft, welche gleich ist dem Drucke einer Quecksilbersäule von etwa 760 Millimeter oder einer Wassersäule von mehr als 10 Meter Höhe. Die Grundflächen dieser Drucksäulen sind den gedrückten Flächen an Grösse gleich. Man berechnet daraus auf sehr einfache Weise, dass der Atmosphärendruck auf 1 Quadratmeter 10333 Kilogramm beträgt, also auf 1 Quadrat-Centimeter 1,0333 Kilogramm.

Es mag hier erwähnt werden, dass bei Dampfkesselanlagen u. dgl. verordnungsmässig als „Atmosphärendruck" der Druck von 1 Kilogramm auf 1 Quadrat-Centimeter gilt.

Die Körperoberfläche eines Menschen von mittlerer Grösse kann man zu 1,54 Quadratmeter annehmen. Es beträgt also der auf den Körper eines Menschen von mittlerer Grösse ausgeübte Luftdruck ungefähr 16 000 Kilogramm.

Dieses ist jedoch nicht in solcher Weise aufzufassen, als ob ein durch die Anziehungskraft der Erde, durch die Schwerkraft, veranlasster Druck auch gerade nur in der Richtung der Erdanziehung zur Wirkung kommen müsste, als ob wir ein Gewicht von 16 000 Kilogramm auf den Schultern zu tragen hätten! Eine solche Anschauung ist nur bei vollständiger Unkenntniss der ersten hydrostatischen Lehrsätze möglich. Ein noch grösserer Theil des Luftdrucks wirkt an unserem Körper von unten nach oben, als von oben nach unten; wir erfahren in der Luft, ähnlich wie im Wasser einen Auftrieb, der nun allerdings bei dem verhältnissmässig sehr geringen Gewichte der von unserem Körper verdrängten Luftmasse, bei dem geringen specifischen Gewichte der Luft, die Schwere unseres Körpers nicht überwinden, uns nicht in die Höhe heben kann. Die ausserdem noch auf unseren Körper seitlich wirkenden Druckkräfte heben sich in Bezug auf die Seitenbewegungen, welche sie, einseitig wirkend, dem Körper ertheilen würden, als gleich gross gegenseitig auf, äussern sich nur in einer allseitigen gleichmässigen Zusammenpressung unseres Körpers. Allein auch diese Pressung empfinden wir nicht, weil unser Körper selbst mit Luft und anderen Flüssigkeiten gefüllt ist, deren Spannkraft gleich der Spannkraft der äusseren Luft ist.

Auch im Inneren von Gebäuden muss die Luft ebenso stark zusammengepresst werden und ebenso stark wieder nach allen Seiten drücken, wie zu derselben Zeit die äussere Luft in derselben Höhe.

In zunehmender Höhe über dem Meeresspiegel wird der Druck der Luft geringer, als derselbe oben angegeben ist; und zwar durch die doppelte Ursache, weil die Druckhöhe, ein Factor des Drucks, und die Dichte, das specifische Gewicht der Luft, ebenfalls ein Factor des Drucks, geringer werden.

Da nämlich die Luft eine schwere und zugleich höchst elastische Flüssigkeit ist, so müssen immer die oberen Luftschichten mit ihrem ganzen Gewichte auf die unteren Schichten drücken, und in Folge dessen müssen die am tiefsten liegenden Schichten am meisten zusammengepresst, verdichtet werden.

Ueberhaupt muss eine Luftmasse durch äusseren Druck so lange auf ein kleineres Volumen zusammengepresst, sohin verdichtet werden, bis ihre Spannkraft mit dem äusseren Druck im Gleichgewicht ist. Dass mit der Verdichtung durch äusseren Druck die Spannkraft zunehmen muss, folgt schon aus dem Begriffe der Elasticität.

Umgekehrt muss auch, wenn die Spannkraft einer Luftmasse grösser ist als der äussere Druck, diese Luftmasse sich ausdehnen, während zugleich ihre Dichte und Spannkraft vermindert wird, bis diese Spannkraft und der äussere Druck sich gegenseitig aufheben.

Auf diese gesetzmässigen Wechselwirkungen haben zuerst Mariotte und Boyle aufmerksam gemacht; das Mariotte'sche Gesetz lautet nämlich: die von einer Luftmenge bei verschiedenen Pressungen eingenommenen Räume verhalten sich umgekehrt wie die pressenden Kräfte; oder auch, wie daraus unmittelbar hervorgeht: die Dichte der Luft wächst in geradem Verhältnisse mit der pressenden Kraft.

Wird demnach der auf eine abgesperrte Luftmasse ausgeübte Druck auf das Doppelte gesteigert, so wird auch die Dichte und Spannkraft die doppelte, das Volumen dagegen wird auf die Hälfte vermindert.

Da nicht nur durch Druck, sondern auch durch die Wärme das Volumen und die Spannkraft der Luft Veränderungen erfahren, bei demselben Volumen durch Wärmeaufnahme die Spannkraft der Luft erhöht, durch Wärmeverlust vermindert wird, so ist noch zu bemerken, dass das Mariotte'sche Gesetz streng nur von einer Luftmenge von gleichem Wärmeinhalt gilt, von einer Luftmasse also, welche die bei der Zusammendrückung aufgenommene Wärme an die Umgebung wieder abgegeben, die bei der Ausdehnung verlorene wieder von der Umgebung erhalten hat; denn das thermische Aequivalent der Pressungsarbeit tritt als Wärme in der gepressten Luft auf, wie andererseits bei der Aus-

dehnung die Luft, indem sie den äusseren Druck überwindet, Arbeit leistet auf Kosten eines äquivalenten Wärmegehaltes.

Mariotte-Boyle's Gesetz wird demnach genauer in folgender Weise angegeben:

Die Dichtigkeit und Elasticität der Luft ist der sie zusammendrückenden Kraft direct proportional, das von ihr eingenommene Volumen ist der zusammendrückenden Kraft umgekehrt proportional, vorausgesetzt, dass die Temperatur constant bleibt.

§. 54.

Temperaturveränderung bei der Vermischung ungleich warmer Luftmengen.

Wenngleich Flüssigkeiten von ungleichem specifischen Gewichte, die sich weder chemisch, noch durch Diffusion mischen, in einem Raume gegenseitig in unmittelbare Berührung gebracht, sich nach ihren specifischen Gewichten in horizontalen Schichten lagern, so kann doch unter Umständen eine sehr innige Vermischung derselben eintreten. Bringt man z. B. in eine Flasche, welche etwas Wasser enthält, dazu etwas Baumöl, so wird dieses allerdings vom Wasser über demselben getragen; durch heftiges Schütteln kann man aber Wasser und Oel zu einer milchartigen Flüssigkeit vermischen, die anfangs ganz gleichartig erscheint. Nach mehreren Stunden bemerkt man jedoch, dass sich in kleinen, zu immer grösseren sich vereinigenden Kügelchen das Oel vom Wasser trennt und nach einigen Tagen ist das Wasser sowohl, wie auch die Oelschicht über demselben so klar wie zuerst. Ebenso können durch heftige mechanische Einwirkungen Luftmassen von verschiedenem specifischen Gewichte sich mischen; wenn z. B. die eine sehr fein vertheilt durch die andere zu fliessen gezwungen wird; wenn sich grössere oder kleinere Luftmassen mit bedeutender Geschwindigkeit begegnen; wenn sie gezwungen sind, in Röhren, namentlich bei verticaler, durch Krümmungen unterbrochener Richtung denselben Weg zu verfolgen, und auf ähnliche Art. Sind aber einmal zwei Luftmassen gemischt, so trennen sie sich nicht wieder wie Oel und Wasser, weil in der Luftmischung die Wärme sich ausgleicht, somit die Verschiedenheit der specifischen Gewichte, die Ursache der Trennung nicht mehr vorhanden ist.

Es ist oft wichtig, den Raum zu kennen, welchen Luftmassen von verschiedener Temperatur nach der Vermischung einnehmen, sowie auch die Temperatur der Mischung zu berechnen.

Der Raum, welchen eine bestimmte Luftmasse einnimmt, hängt von dem äusseren Drucke oder der entsprechenden Spannkraft der Luft, von der Grösse der Masse oder der Anzahl der Luftmoleküle und von der damit vereinigten Wärmemenge ab. Wenn man, was zulässig ist, voraussetzt, dass bei constantem Atmosphärendruck und veränderlichem Volumen die Luft für jeden Grad der Temperaturerhöhung gleichviel an Volumen zunehme, und dass dabei für jeden Grad der Temperaturerhöhung auch eine gleiche Wärmemenge erforderlich sei, so muss der Raum nach der Vermischung mehrerer Luftmassen von gleicher oder ungleicher Temperatur bei gleichbleibendem äusseren Drucke gleich der Summe der Räume der einzelnen Luftmassen vor der Vermischung sein; denn Spannkraft, Masse und Wärmemenge sind ungeändert im neuen Raume vorhanden. Was aber die Temperatur nach der Vermischung betrifft, so sind hier die Fälle zu unterscheiden, ob man bei den zu mischenden ungleich warmen Luftmengen die Gewichtstheile oder die Raumtheile kennt.

Hat man n Kilogramm Luft von t^0 und m Kilogramm Luft von T^0, und ist C die specifische Wärme der Luft für constanten Atmosphärendruck, so sind den beiden Luftmassen von 0^0 bei der Erwärmung auf t^0 und T^0 die Wärmemengen zugeführt worden:

$$ntC \text{ Calorien und } mTC \text{ Calorien.}$$

Die $n + m$ Kilogramm Luft brauchen zur Erwärmung um je 1^0 C. die Wärmemenge

$$(m + n)\, C \text{ Calorien.}$$

So oft diese Wärmemenge in den beiden erwärmten Luftmassen vorhanden ist, um so viele Grade wird auch die ganze Masse vom Gesammtgewichte $(m + n)$ Kilogramm erwärmt werden. Somit ist die Mischungstemperatur, welche mit t_0 bezeichnet werden mag:

$$t_0 = \frac{ntC + mTC}{(n + m)\, C} \text{ oder}$$

$$t_0 = \frac{nt + mT}{n + m} \text{ Grade Celsius.}$$

Diese Gleichung lässt sich in leicht ersichtlicher Weise für drei und beliebig viele sich mischende ungleich warme Luftmassen, deren Gewichte bekannt sind, erweitern. Es gilt demnach allgemein der Satz:

Mischen sich mehrere ungleich warme Luftmengen, deren Gewichtstheile bekannt sind, so erfährt man die Temperatur der Mischung, wenn man die Summe der Producte aus den einzelnen Gewichtsmengen und den zuge-

hörigen Temperaturen durch die Summe der Gewichte dividirt.

Mischen sich aber, was in der Anwendung der gewöhnliche Fall ist, mehrere ungleich warme Luftmengen, die nur nach ihren Raumtheilen gegeben sind, so ist die Berechnung der Mischungstemperatur nicht so einfach.

Wenn sich gleiche Raumtheile ungleich warmer Luftmassen mischen, so muss die resultirende Temperatur geringer als das arithmetische Mittel aus den ursprünglichen Temperaturen sein. Dieses folgt unmittelbar aus dem Vorhergehenden. Sind die Raumtheile beider Luftmassen gleich, so muss offenbar die Gewichtsmenge der specifisch leichteren, wärmeren Luft geringer sein. Der Einfluss der kälteren Luft wird nun überwiegend, die resultirende Temperatur muss folglich geringer sein, als bei der Vermischung gleicher Gewichtsmengen von denselben ungleichen Temperaturen. Gleiche Gewichtsmengen bedingen ein grösseres Volumen der wärmeren Luft. Die durch Vermischung gegebener, gleicher oder ungleicher Raumtheile entstehende Temperatur kann man mittels der obigen Gleichung für t_0 finden, wenn man die gegebenen Raumtheile durch die Gewichte ausdrückt.

Dieses ist nahe liegend; es ist aber nicht nothwendig, die Gewichte wirklich zu berechnen, weil es nur auf die Gewichtsverhältnisse ankommt. Für den vorliegendeu Fall mag deshalb eine besondere Gleichung entwickelt werden.

Es sollen sich N Cubikmeter Luft von t^0 und M Cubikmeter von T^0 mischen.

Bezeichnet man das bekannte, aber hier gleichgültige Gewicht eines Cubikmeters Luft von 0^0 in Kilogramm mit G, so ist das Gewicht von N Cubikmeter bei t^0 C:

$$N \cdot \frac{G}{1 + at} \text{ Kilogramm.}$$

Ebenso das Gewicht von M Cubikmeter bei T^0 C:

$$M \cdot \frac{G}{1 + aT} \text{ Kilogramm.}$$

Durch Substitution dieser beiden Werthe für n und m in die oben entwickelte Gleichung

$$t_0 = \frac{nt + mT}{n + m}$$

erhält man als Temperatur t_0 der Mischung von N und M Cubikmeter Luft, deren Temperaturen beziehungsweise t und T^0 sind:

$$t_0 = \frac{\frac{NG}{1 + at} \cdot t + \frac{MG}{1 + aT} \cdot T}{\frac{NG}{1 + at} + \frac{MG}{1 + aT}}$$

oder

$$t_0 = \frac{Nt\,(1 + aT) + MT\,(1 + at)}{N\,(1 + aT) + M\,(1 + at)}.$$

Haben (um diese Gleichung auf einen einfachen speciellen Fall anzuwenden) die beiden sich mischenden Luftmassen gleiches Volumen, so ist $N = M$ und die Gleichung geht in folgende über:

$$t_0 = \frac{t\,(1 + aT) + T\,(1 + at)}{2 + aT + at}.$$

Mischen sich z. B. zwei gleiche Raumtheile Luft von 0° und 100° C., so ist $t = 0$ und $T = 100$; ferner ist $a = 0{,}003\,665$, und sonach wird:

$$t_0 = \frac{100}{2{,}3665} = 42{,}2^0 \text{ C.}$$

Durch Mischung gleicher Raumtheile Luft von 0° und 100° C. entsteht also eine Temperatur von 42,2° C., somit eine geringere Temperatur als das arithmetische Mittel der beiden ursprünglichen Temperaturen, wie auch oben behauptet wurde.

Es mag nun noch an dem letzten Beispiel, um zugleich auch dessen Resultat zu prüfen, untersucht werden, ob die Luftmassen nach der Vermischung auch wirklich den gleichen Raum einnehmen wie vorher bei den verschiedenen Temperaturen.

Soviel ist unbestreitbar, dass eine und dieselbe Luftmasse bei unveränderter Spannkraft und bei einer bestimmten Temperatur, also auch bei 42,2° immer denselben Raum einnimmt. Waren die gleichen Raumtheile der Luft von 0° und 100° je 1 Cubikmeter, so würde die Luft des Cubikmeters von 100°, auf 0° abgekühlt, einen bedeutend geringeren Raum einnehmen. Bezeichnet man diesen geringeren Raum mit x, so hat man:

$$x\,(1 + 0{,}003\,665\,.\,100) = 1,$$

$$x = \frac{1}{1{,}3665} = 0{,}7318 \text{ Cubikmeter.}$$

Beide Luftmassen zusammen würden also bei 0° geben: 1,7318 Cubikmeter.

Wird die Luftmenge von 1,7318 Cubikmeter auf 42,2° erwärmt, so muss sie den Raum einnehmen, der sich nach dem Ausdrucke $1 + at$ aus dem Producte berechnen lässt:

$$1,7318\ (1 + 0,003\,665\ .\ 42,2)\ \text{Cubikmeter.}$$

Hieraus wird der gesuchte Raum mehr als 1,999, also fast genau 2 Cubikmeter, so dass man 42,2° als richtig betrachten und somit annehmen darf, dass 1 Cubikmeter Luft von 0° und 1 Cubikmeter Luft von 100° C. durch Vermischung 2 Cubikmeter Luft von 42,2° geben.

§. 55.

Die Bestandtheile der reinen atmosphärischen Luft.

Bis zum siebenzehnten Jahrhundert betrachtete man nach der Lehre des Aristoteles die Luft als den einzigen ausdehnsam flüssigen Körper, als einfachen, unzusammengesetzten, unwägbaren Stoff, als eines der vier Elemente. Aristoteles nahm Feuer, Luft, Wasser und Erde als die Urstoffe aller Materie an. Daneben räumte er aber noch das Bestehen einer Quintessenz, eines fünften Elementes, einer „essentia quinta" ein.

Van Helmont (geb. zu Brüssel) zeigte im Jahre 1608, dass es ausser der atmosphärischen Luft noch andere Körper gebe, welchen dieselbe Fluidität eigen sei, wie der Luft; er nannte diese fluiden Körper Gase. Erst am Ende des vorigen Jahrhunderts jedoch wurde die qualitative und quantitative Zusammensetzung der atmosphärischen Luft erkannt.

Jetzt ist es hinlänglich festgestellt, dass es zwei Stoffe sind, Sauerstoff und Stickstoff, welche zur Existenz der Luft unumgänglich nothwendig und immer in ihr nach einem bestimmten Verhältnisse vorhanden sind; man weiss ferner, dass die Luft ausser diesen wesentlichen Bestandtheilen noch zufällige Beimischungen enthält, und diese unter verschiedenen Umständen von verschiedener Menge. Von diesen nicht wesentlichen Bestandtheilen sind wieder zwei immer in der ganzen Atmosphäre ziemlich gleichmässig vertheilt und leicht nachweisbar, nämlich die Kohlensäure und das Wassergas. Unter Wassergas ist hier gasförmig gewordenes Wasser, Wasserdampf oder Wasserdunst zu verstehen, nicht etwa, wie es hin und wieder geschieht, ein durch Zersetzung des Wassers gewonnenes brennbares Gas, Wasserstoffgas.

Ausser dem Sauerstoff, Stickstoff, der Kohlensäure und dem gasförmigen Wasser sind noch andere Gase und organische Substanzen in der Atmosphäre vertheilt; doch sind diese meist nur in der Nähe ihrer

Erzeugungsstellen wahrnehmbar. Ueber solche Verunreinigungen der Luft wird weiter unten im Abschnitt über Luftverderbniss Näheres mitgetheilt.

Zunächst sollen die einzelnen immer in messbarer Menge in der Atmosphäre enthaltenen Gase kurz betrachtet werden, also Sauerstoff, Stickstoff, Kohlensäure, Wassergas. Diese vier Gase sind ohne Farbe, dagegen ganz ohne Geruch und Geschmack nur Sauerstoff, Stickstoff und Wassergas; die Kohlensäure ist ein schwach säuerlich riechendes und schmeckendes Gas, was sich aber bei der verhältnissmässig sehr geringen Menge, wie sie in der atmosphärischen Luft enthalten ist, in dieser nicht wahrnehmen lässt. Von einer unmittelbaren Bestimmung der Bestandtheile der Luft durch unsere Sinne kann desshalb auch nicht annähernd die Rede sein. Doch giebt die Chemie Mittel an die Hand, um mit aller Schärfe qualitativ und quantitativ diese Gemengtheile der atmosphärischen Luft zu bestimmen.

Zu diesem Zwecke leitet man eine abgewogene Luftmenge durch einen aus drei genau abgewogenen Röhren zusammengesetzten Apparat. Die erste Röhre enthält Chlorcalcium oder Bimsteinstücke, welche mit Schwefelsäure befeuchtet sind; die zweite Röhre enthält geschmolzenes Aetzkali oder Kalkerdehydrat, die dritte erhitztes Kupfer oder Phosphor und eine Schicht Baumwolle. Aus der Gewichtszunahme der ersten Röhre erkennt man den Gehalt der Luft an Wassergas, die Gewichtszunahme der zweiten zeigt den Gehalt der Luft an Kohlensäure, die der dritten Röhre den Gehalt an Sauerstoff. Der Stickstoff wird von keinem der in den Röhren befindlichen Körper gebunden; er gelangt vollständig durch den Röhrenapparat und kann besonders aufgefangen werden. Die Menge des Stickstoffs ergiebt sich jedoch schon aus der Differenz zwischen dem Gewicht der ursprünglichen Luftmasse und der Summe der ermittelten Gewichte der drei anderen Bestandtheile, wenn man sich durch eine einfachere qualitative Untersuchung überzeugt hat oder doch sicher ist, dass die angewendete Luft nicht durch andere Gase verunreinigt war. Auf diese oder ähnliche Art hat man folgende Resultate gefunden.

Die vollkommen reine, auch von Kohlensäure und Wassergas befreite atmosphärische Luft enthält in 100 Gewichtstheilen 24 Gewichtstheile Sauerstoff und 76 Gewichtstheile Stickstoff, oder, nach dem Volumen ausgedrückt, in 100 Raumtheilen etwa 21 Raumtheile Sauerstoff und 79 Raumtheile Stickstoff. Das specifische Gewicht des Sauerstoffs ist 1,105 63, das des Stickstoffs 0,971 37 auf die Luft selbst als Einheit bezogen.

In dem erwähnten Verhältnisse sind Sauerstoff und Stickstoff in jeder Höhe der Atmosphäre enthalten. Trotz dieses constanten Mischungsverhältnisses ist die atmosphärische Luft keine chemische Verbindung, sondern nur ein Gemenge. Für diese Behauptung spricht namentlich der Umstand, dass man durch Zusammenbringen von Sauerstoff und Stickstoff nach dem angegebenen Verhältnisse ein Gas erzeugen kann, welches sich in Nichts von der vollkommen reinen, kohlensäurefreien und trocknen atmosphärischen Luft unterscheidet, dass aber bei dieser Lufterzeugung die gewöhnlichen Merkmale für die Bildung einer chemischen Verbindung, nämlich Verdichtung und Wärme nicht wahrgenommen werden können. Auch die Thatsachen, dass das Wasser mit Luft in Berührung mehr Sauerstoff absorbirt als Stickstoff, dass die Metalle der Luft nur den Sauerstoff entziehen, andere Körper nur den Stickstoff, widerstreiten der Annahme, dass die atmosphärische Luft eine chemische Verbindung sei, einer Annahme, welche lange Zeit aufrecht erhalten wurde.

Die Kohlensäure findet man immer in der freien Atmosphäre, und zwar in 10000 Raumtheilen der Luft 3 bis 5 Theile Kohlensäure. Das specifische Gewicht der Kohlensäure ist 1,5291, auf Luft von derselben Temperatur und Spannkraft als Einheit bezogen. Trotzdem findet man die Kohlensäure nach dem erwähnten annähernden Verhältniss in den höchsten Schichten der Atmosphäre verbreitet; eine Folge der Diffusion.

Auch Wassergas oder Wasserdampf fehlt nie in der Atmosphäre, ist in weit ausgedehnten Räumen der Atmosphäre gewöhnlich zu derselben Zeit ziemlich gleichmässig verbreitet; doch ist an jedem Orte der Gehalt der Luft an Wassergas sehr veränderlich. Dieser Umstand wird durch die folgende Abhandlung seine Erklärung finden.

§. 56.

Verbreitung des Wassergases in der atmosphärischen Luft. Dampfspannung und Dampfgewicht.

Die Bezeichnungen Wassergas, Wasserdampf, geradezu Dampf und Dunst werden im gewöhnlichen Leben fast gleich oft und gleichbedeutend gebraucht. Die vorzüglichsten Physiker beobachten jedoch einen Unterschied; sie verstehen unter Wassergas oder Wasserdampf das völlig gasförmige, unsichtbar gewordene Was-

ser, eine vollkommen durchsichtige elastische Flüssigkeit, während sie das in sichtbaren Kügelchen oder Bläschen fein vertheilt in der Luft schwebende Wasser mit Wasserdunst oder Nebel bezeichnen.

Für die Menge des in einem bestimmten Volumen Luft gasförmig vorhandenen Wassers giebt es für jede Temperatur ein ganz bestimmtes Maximum. Diese Menge, durch welche die Luft mit Dampf gesättigt wird, ist um so bedeutender, je höher die Temperatur der Luft und folglich des aufgenommenen Dampfes. Ist die Luft in einem Raume mit einer hinreichenden Wassermenge in Berührung, so füllt sich der Raum mit jener bestimmten Menge Dampf, und dann hört die Verdampfung auf, soviel auch noch vom Wasser in tropfbarflüssigem Zustande vorhanden sein mag. War aber die genügende Wassermenge nicht vorhanden, so enthält nach der vollständigen Verdampfung der Luftraum weniger Wasser, als er enthalten könnte, die Luft ist nicht mit Dampf gesättigt. Wird eine vollkommen mit Dampf gesättigte Luftmasse auf höhere Temperatur gebracht, so enthält sie als wärmere Luft nicht mehr die Dampfmenge, mit welcher sie im Zustande der Sättigung angefüllt wäre, sie ist also bei demselben Wassergehalte der kälteren Luft gegenüber verhältnissmässig trocken; die Erwärmung entzieht der Luft nicht ein Molekül des Wassers, welches sie einmal enthält, aber sie macht die Luft relativ trockner.

Man nennt sonach relative Feuchtigkeit das Verhältniss der in einem Raume bei dem betreffenden Wärmezustand als Dampf vorhandenen Wassermenge zu der daselbst bei derselben Temperatur möglichen grössten Menge; absolute Feuchtigkeit hingegen ist geradezu die Bezeichnung der Wassermenge, welche als Dampf in einem Raume vorhanden ist, abgesehen von der Temperatur. Hat die Luft bei einer gewissen Wärme die Maximalmenge des Dampfes in sich aufgenommen, sich mit Feuchtigkeit gesättigt, so veranlasst jede Abkühlung einen Niederschlag; es verdichtet sich soviel Dampf zu Dunst, Nebel, Wasser, Schnee oder Eis und fällt aus der Luftmasse heraus, dass die zurückbleibende Dampfmenge das dieser niederen Temperatur zukommende Maximum ist.

Es ist wichtig, bei verschiedenen Temperaturen das Maximum der in einem mit Luft angefüllten Raume enthaltenen Dampfmenge zu kennen.

Die Dämpfe verbreiten sich durch Diffusion in einem Raume, wo sich schon andere Gase befinden, ebenso reichlich, als ob jene Gase gar nicht vorhanden wären. Daraus folgt der durch die Erfahrung be-

stätigte Satz: Die Dampfmenge, welche im expansibel flüssigen Aggregatszustande in einem Luftvolumen verharren kann, ist immer genau ebenso gross, als sie bei der nämlichen Temperatur im leeren Raume sein würde. Auch behalten die Dämpfe in der Luft dieselbe Expansivkraft, wie in der Luftleere und ändern mit zunehmender Dichte der Luft (indem z. B. eine neue trockne Luftmenge zu der mit Dampf vermischten in denselben Raum eingepresst wird) ihre eigene Dichte und Exspansivkraft nicht. Die Dämpfe verbreiten sich also auch der Menge nach unabhängig vom Luftdrucke und bilden eine eigene Atmosphäre in der Atmosphäre, eine Dampfsphäre in der Luftsphäre.

Durch vielfache Versuche und vergleichende Berechnungen hat man gefunden, dass die Dichte oder das specifische Gewicht des Wasserdampfes, wenn der Raum damit gesättigt ist, nahezu 0,6225 ist, oder ungefähr $^5/_8$ von der Dichte der Luft bei gleicher Temperatur und gleicher Spannkraft. Diese Verhältnisszahl wurde seit Gay-Lussac allgemein als richtig angenommen, bis Holzmann (1845) nachwies, dass richtiger gesetzt werden müsse

$$0{,}559\,64 \cdot \frac{272{,}63 + t}{236{,}22 + t}$$

Für die Zwecke dieses Buches mag immerhin der einfachere Ausdruck beibehalten werden.

Kennt man die Spannkraft des bei bestimmter Temperatur einen Raum sättigenden Dampfes, so lässt sich aus dem Verhältnisse dieser Spannkraft zu der Spannkraft der Luft bei bestimmtem Drucke und mit Einführung des bekannten specifischen Gewichts der Luft bei der bestimmten Temperatur und Spannkraft die Dichte oder das specifische Gewicht des Dampfes, welcher bei irgend einer bestimmten Temperatur den luftleeren Raum sättigt, berechnen, und daraus dann auch dem absoluten Gewichte nach die Dampfmenge, welche ein bestimmtes Volumen Luft bei gegebener Temperatur aufnehmen kann.

Die Spannkraft eines Gases drückt man gewöhnlich durch die in Millimetern angegebene Höhe einer Quecksilbersäule aus, welche das Gas vermöge seiner Spannkraft tragen kann; so beträgt die Spannkraft der Luft unter dem normalen Atmosphärendrucke am Meeresspiegel 760 Millimeter.

Im Zustande der Sättigung ist

bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Millimeter	bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Millimeter	bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Millimeter
— 20° C.	0,93	16° C.	13,54	40° C.	54,90
— 15	1,40	17	14,42	50	91,98
— 10	2,09	18	15,36	60	148,79
— 5	3,11	19	16,35	70	233,09
0	4,60	20	17,39	80	354,64
1	4,94	21	18,49	90	525,45
2	5,30	22	19,66	100	760,00
3	5,69	23	20,89	110	1075,37
4	6,10	24	22,18	120	1491,28
5	6,53	25	23,55	130	2030,28
6	7,00	26	24,99	140	2717,63
7	7,49	27	26,50	150	3581,23
8	8,02	28	28,10	160	4651,62
9	8,57	29	29,78	170	5961,66
10	9,16	30	31,55	180	7546,39
11	9,79	31	33,41	190	9442,70
12	10,46	32	35,36	200	11 688,96
13	11,16	33	37,41	210	14 324,80
14	11,91	34	39,56	220	17 390,36
15	12,70	35	41,83	230	20 926,46

Wie man hieraus ersehen kann, ist bei der Siedhitze des Wassers unter normalen Umständen, nämlich bei 100° C., die Dampfspannung gleich dem vollen Atmosphärendrucke oder 760 Millimeter Quecksilberhöhe. Man bezeichnet desshalb diese Spannung auch mit 1 *A*. Von Interesse ist es, die Temperaturen zu kennen, welche der mehrfachen Atmosphärenspannung des Dampfes entsprechen.

Im Zustande der Sättigung ist

bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Atmosphären	bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Atmosphären	bei einer Temperatur von	die Dampfspannung in Atmosphären
100° C.	1 *A*	148,3	4½ *A*	175,8	9 *A*
111,7	1½ *A*	152,2	5 *A*	180,3	10 *A*
120,6	2 *A*	155,9	5½ *A*	213,0	20 *A*
127,8	2½ *A*	159,2	6 *A*	236,2	30 *A*
133,9	3 *A*	161,5	6½ *A*	252,5	40 *A*
139,2	3½ *A*	165,3	7 *A*	265,9	50 *A*
144,0	4 *A*	170,8	8 *A*		

Man erkennt aus beiden Tabellen, dass die Dampfspannung für jede Temperatur eine andere ist und mit der Temperatur rasch wächst.

Es soll nun eine Gleichung für die Berechnung der in der Raumeinheit möglichen Dampfmenge von bestimmter Temperatur entwickelt werden.

Ist allgemein P das Gewicht der Volumeneinheit Luft bei der Spannkraft oder Spannung S, so wäre das Gewicht p für die Volumeneinheit Luft bei einer anderen Spannung S_1, vorausgesetzt, dass weder Wärmezufluss noch Wärmeverlust stattfindet, nach dem Satze bestimmt, dass sich die Dichten, also auch die Gewichte der Volumeneinheiten direct wie die Spannungen verhalten:

$$p : P = S_1 : S$$

$$p = P \frac{S_1}{S}$$

Bezeichnet man aber mit P_1 das Gewicht des die Volumeneinheit sättigenden Wasserdampfes bei der Spannung S_1, so hat man den letzten Ausdruck noch mit 0,6225 aus einem vorhin angegebenen Grunde zu multipliciren; folglich wird nun unter der letzten Annahme:

$$P_1 = \frac{0,6225 \,.\, P \,.\, S_1}{S}$$

Das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft bei 0° und 760 Millimeter Spannung ist 1,29 Kilogramm. Bei einer anderen Temperatur t^0 ist dasselbe allgemein

$$P_1 = \frac{1,29}{1 + at} \text{ Kilogramm.}$$

Durch Einsetzung dieses Werthes für P und des dabei vorausgesetzten Werthes 760 für S in die Gleichung für P_1 erhält man:

$$P = \frac{0,6225 \,.\, 1,29}{1 + at} \cdot \frac{S_1}{760}$$

Setzt man für S_1 die durch Versuche gefundene und aus obiger Tabelle zu entnehmende Spannung des Dampfes ein, für t die zugehörige Temperatur, für den Ausdehnungscoëfficienten der Luft dessen Werth $a = 0,003665$, so erhält man für P_1 immer das Gewicht des Dampfes, welcher bei der betreffenden Temperatur den Raum 1 Cubikmeter sättigt.

Ist beispielsweise die Temperatur des Dampfes, welcher einen Raum sättigt, — 10° C., so ist dessen Spannkraft 2,08 Millimeter; das Verhältniss seiner Spannkraft zu der der Luft unter dem Atmosphärendrucke ist

$$\frac{S_1}{S} = \frac{2,09}{760}$$

und das Gewicht von 1 Cubikmeter Wasserdampf bei — 10° in gesättigtem Zustande:

$$P_1 = \frac{0{,}6225 \,.\, 1{,}29}{1 + 0{,}003665 \,.\, -10} \cdot \frac{2{,}09}{760}$$

$$P_1 = 0{,}00230 \text{ Kilogramm.}$$

$$= 2{,}30 \text{ Gramm.}$$

Dieselbe Gewichtsmenge Wasser in Gasform kann als Maximum von einem Cubikmeter Luft bei der Temperatur — 10° C. aufgenommen werden.

Die Dichte dieses Dampfes, oder das specifische Gewicht auf Wasser als Einheit bezogen, ist, da 1 Kilogramm Wasser 1000 Kilogramm wiegt:

$$D = \frac{0{,}0023}{1000} = 0{,}000\,0023$$

Die auf solche Weise sich ergebenden Werthe sind in folgender Tabelle für verschiedene Temperaturen zusammengestellt, und zwar zur Bequemlichkeit in der Benutzung jedesmal die drei Werthe.

Die Temperaturen über 100° sind die den in voriger Tabelle angegebenen Atmosphärenspannungen entsprechenden.

Wasserdampfmengen,
welche der Raum von einem Cubikmeter, oder welche ein Cubikmeter Luft im Zustande der Sättigung enthält.

Temperatur nach Celsius.	Dampfgewicht Kilogramm.	Dampfgewicht Gramm.	Specifisches Gewicht des Dampfes für Wasser = 1.
— 20°	0,001 06	1,06	0,000 001 06
— 15	0,001 39	1,39	0,000 001 39
— 10	0,002 30	2,30	0,000 002 30
— 5	0,003 36	3,36	0,000 003 36
0	0,004 89	4,89	0,000 004 89
1	0,005 23	5,23	0,000 005 23
2	0,005 59	5,59	0,000 005 59
3	0,005 98	5,98	0,000 005 98
4	0,006 38	6,38	0,000 006 38
5	0,006 81	6,81	0,000 006 81
6	0,007 27	7,27	0,000 007 27
7	0,007 77	7,77	0,000 007 77
8	0,008 27	8,27	0,000 008 27
9	0,008 82	8,82	0,000 008 82
10	0,009 38	9,38	0,000 009 38

Temperatur nach Celsius.	Dampfgewicht Kilogramm.	Dampfgewicht Gramm.	Specifisches Gewicht des Dampfes für Wasser = 1.
11	0,009 99	9,99	0,000 009 99
12	0,010 62	10,62	0,000 010 62
13	0,011 31	11,31	0,000 011 31
14	0,012 04	12,04	0,000 012 04
15	0,012 81	12,81	0,000 012 81
16	0,013 59	13,59	0,000 013 59
17	0,014 43	14,43	0,000 014 43
18	0,015 14	15,14	0,000 015 14
19	0,016 26	16,26	0,000 016 26
20	0,017 23	17,23	0,000 017 23
21	0,018 26	18,26	0,000 018 26
22	0,019 37	19,37	0,000 019 37
23	0,020 50	20,50	0,000 020 50
24	0,021 59	21,59	0,000 021 59
25	0,022 95	22,95	0,000 022 95
26	0,024 27	24,27	0,000 024 27
27	0,025 69	25,69	0,000 025 69
28	0,027 10	27,10	0,000 027 10
29	0,028 63	28,63	0,000 028 63
30	0,030 23	30,23	0,000 030 23
31	0,031 91	31,91	0,000 031 91
32	0,033 66	33,66	0,000 033 66
33	0,035 51	35,51	0,000 035 51
34	0,037 43	37,43	0,000 037 43
35	0,039 51	39,51	0,000 039 51
40	0,050 95	50,95	0,000 050 95
50	0,082 72	82,72	0,000 082 72
60	0,129 80	129,80	0,000 129 80
70	0,197 41	197,41	0,000 197 41
80	0,290 88	290,88	0,000 290 88
90	0,420 52	420,52	0,000 420 52
100	0,591 92	591,92	0,000 591 92
111,7	0,860 2	860,2	0,000 860 2
120,6	1,120 2	1120,2	0,001 120 2
127,8	1,374 3	1374,3	0,001 374 3
133,9	1,623 2	1623,2	0,001 623 2
139,2	1,868 9	1868,9	0,001 868 9
144,0	2,111 6	2111,6	0,002 111 6
148,3	2,354 7	2354,7	0,002 354 7
152,2	2,591 8	2591,8	0,002 591 8
155,9	2,826 5	2826,5	0,002 826 5
159,2	3,059 6	3059,6	0,003 059 6
161,5	3,289 6	3289,6	0,003 289 6

Temperatur nach Celsius.	Dampfgewicht Kilogramm.	Dampfgewicht Gramm.	Specifisches Gewicht des Dampfes für Wasser = 1.
165,3	3,514 4	3 514,4	0,003 514 4
170,8	3,970 6	3 970,6	0,003 970 6
175,8	4,417 7	4 417,7	0,004 417 7
180,3	4,857 4	4 857,4	0,004 857 4
213,0	9,014 0	9 014,0	0,009 014
236,2	13,011	13 011	0,013 011
252,5	16,770	16 770	0,016 770
265,9	20,489	20 489	0,020 489

In §. 53 ist das Gewicht von einem Cubikmeter Luft bei 760 Millimeter Spannung und 100° C. zu 0,946 Kilogramm berechnet, während nach der Tabelle das Gewicht von einem Cubikmeter Wasserdampf bei 100° C. im Zustande der Sättigung, also ebenfalls bei 760 Millimeter Spannung 0,591 92 Kilogramm ist, oder ungefähr $^5/_8$ des Gewichtes der Luft von gleicher Temperatur und Spannkraft, übereinstimmend mit einer oben gemachten allgemeineren Angabe.

§. 57.

Gewicht der feuchten Luft.

Wenn nach dem Vorausgehenden unter verschiedenen Umständen das Gewicht einer wasserfreien Luftmasse sowie das Gewicht einer Dampfmenge bestimmt werden kann, so entsteht wohl auch die Frage, wie gross das Gewicht einer theilweise oder ganz mit Dampf gesättigten Luftmasse sei.

Einige sagen, die feuchte Luft sei leichter als die trockne, weil der Wasserdampf leichter sei als Luft; dabei hat man gewöhnlich Nichts weiter als die einfache Vermischungsrechnung im Auge, die aber wegen der Diffusion der Gase doch nicht so geradezu zur Anwendung kommen kann. Andere sind der Ansicht, feuchte Luft müsse schwerer sein als trockne, weil sich das Wassergas in einem Raume durch Diffusion unabhängig von der daselbst vorhandenen Luft verbreite, folglich das Gewicht der Luft um sein eigenes Gewicht vergrössere.

Hiebei hat man aber zu beachten vergessen, dass der Dampf nicht nur ein Gewicht, sondern auch eine Spannkraft hat. Durch diese Rücksicht wird auch eine dritte Annahme veranlasst, dass nämlich die Vergrösserung des Gewichts durch die Ausdehnung aufgehoben werde.

Im gewöhnlichen Leben hört man häufig von der schweren feuchten Luft sprechen, wozu theils ein unbehagliches, drückendes Gefühl in zu feuchter Luft Anlass giebt, theils die Erfahrung, dass der sogenannte Zug der Schornsteine bei feucht-warmer Atmosphäre oft auffallend gering ist, welche Erscheinung man sich als Wirkung eines vergrösserten Druckes der feuchten Atmosphäre über der Schornsteinmündung vorzustellen pflegt.

Die Vergleichung der vorerwähnten verschiedenen Ansichten dürfte beweisen, dass man nicht gar so leicht auf einfache Ueberlegung hin die vorliegende Frage sicher und allgemein gültig beantworten wird. Auch ist die Sache interessant und wichtig genug, um die Durchführung einer ausführlichen Untersuchung zu rechtfertigen.

Die Frage liesse sich kurz durch Entwickelung eines mathematischen Ausdrucks für das Gewicht der feuchten Luft erledigen; allein damit würde im Allgemeinen nicht die erwünschte klare Anschauung vermittelt.

Eine Luftmasse, deren Volumen unter dem äusseren Drucke oder bei der ihm gleichen Spannkraft S ein Cubikmeter ist, werde mit Dampf gesättigt, und die Spannkraft dieses Dampfes sei S_1. Die Temperatur, welcher diese Spannkraft des gesättigten Dampfes entspricht, kann ganz beliebig gedacht sein, soll jedoch im Laufe der Untersuchung durch geleistete äussere Arbeit oder andere äussere Einflüsse nicht geändert werden.

Vor Allem ist zu bemerken, dass sich der Dampf allerdings in dem Raume durch Diffusion so gleichmässig verbreitet, als ob die Luft gar nicht vorhanden wäre, dass aber doch alsdann die Spannkraft der Mischung gleich der Summe der Spannkräfte der gemischten Gase, der Luft und des Dampfes zugleich ist, also $= S + S_1$, so lange der Raum nicht geändert wird. Nun werde aber angenommen, die Grösse des Raumes sei (etwa mittels eines dicht schliessenden, aber sehr leicht verschieblichen Kolbens) veränderlich; dann wird sich die Mischung ausdehnen, bis ihre Spannkraft von der Grösse $(S + S_1)$ wieder auf die dem constanten äusseren Drucke gleiche Spannkraft S gesunken ist. Da bei gleichbleibender Masse, aber verändertem Raume einer elastischen Flüssigkeit die Spannkräfte sich umgekehrt verhalten wie die Volumina, oder die Producte aus den Räumen und den entsprechenden Spannungen gleich sein müssen, so erfährt man den unbestimmt etwa mit n bezeichneten Raum, welchen die Mischung bei der Spannkraft S einnehmen wird, aus der Gleichung:

$$1 \,.\, (S + S_1) = n \,.\, S$$

$$n = \frac{S + S_1}{S} \text{ Cubikmeter.}$$

Das Gewicht für die angenommene trockne Luftmasse von 1 Cubikmeter sei P; das Gewicht des den Raum von 1 Cubikmeter sättigenden Dampfes sei P_1; dann ist das ganze Gewicht der Mischung, sowohl bei dem ersten als bei dem vergrösserten Volumen jedesmal $P + P_1$. 1 Cubikmeter der Mischung wiegt aber, nachdem der Raum auf n Cubikmeter vergrössert worden ist, nur noch $\frac{1}{n}(P + P_1)$. Sollte nun das specifische Gewicht der Mischung dasselbe sein, wie das der trocknen Luft, so müsste $\frac{1}{n}(P + P_1) = P$ sein oder

$$\frac{1}{n} P_1 = P - \frac{1}{n} P$$

das heisst, der nach der Ausdehnung noch in dem einen Cubikmeter enthaltene Wasserdampf müsste den durch Ausdehnung der Luft herbeigeführten Gewichtsverlust in diesem Cubikmeter gerade ersetzen, oder mit anderen Worten, das Gewicht des zuletzt in 1 Cubikmeter enthaltenen Dampfes müsste gleich sein der Differenz zwischen dem ganzen Gewichte der trocknen Luftmasse und dem Gewichte jenes Theils derselben, welcher nach der Ausdehnung noch in 1 Cubikmeter enthalten ist.

Der letzten Gleichung kann man auch die Form geben:

$$P_1 = P\,(n - 1)$$

und mit Rücksicht auf obigen Werth von n:

$$P_1 = P\left(\frac{S + S_1}{S} - 1\right)$$

$$P_1 = P\,\frac{S_1}{S}$$

Diese Gleichung müsste ebenfalls wahr sein, wenn die Mischung dasselbe specifische Gewicht haben sollte wie die trockne Luft; die Gleichung kann aber nur dann wahr sein, wenn für die Cubikeinheit das Gewicht des gesättigten Dampfes zu dem der Luft in demselben Verhältnisse steht, wie die Spannkräfte, so dass also auch bei gleichen Spannkräften die Gewichte für die Cubikeinheit gleich wären. Nun ist aber nach §. 56 der Werth von P_1 ein anderer, nämlich:

$$P_1 = 0{,}6225\; P\,\frac{S_1}{S}$$

Daraus folgt, dass das Gewicht des zur Luft hinzugekommenen Dampfes zu gering ist, als dass das specifische

Gewicht der Mischung ebensogross bleiben könnte, als das der trocknen Luft.

Es ist hiebei jedoch wohl zu beachten, dass nicht nur ein constanter Druck bei veränderlichem Volumen, sondern auch constante Temperatur vorausgesetzt wurde; der Dampf musste mit der gehörigen Wärme der Luft zugeführt werden, durfte sich nicht auf Kosten der Luftwärme aus dem Wasser bilden, oder man müsste in diesem Falle die nach vollendeter Dampfbildung entstandene Temperatur als die ursprüngliche der trocknen Luft annehmen und bei dem Volumen und Gewichte darauf Rücksicht nehmen.

Beispiel 1.

Ein Cubikmeter trockne Luft unter dem Atmosphärendrucke oder bei der Spannung $S = 760$ Millimeter und bei der Temperatur 0^0 wiegt:

$$P = 1{,}293 \text{ Kilogramm.}$$

Der Dampf bei Sättigung dieser Luft hat die Spannung $S_1 = 4{,}6$ Millimeter und wiegt:

$$P_1 = 0{,}00489 \text{ Kilogramm.}$$

Ein Cubikmeter mit Dampf gesättigte Luft von 0^0 bei der Spannung $(S + S_1) = 764{,}6$ Millimeter wiegt also:

$$P + P_1 = 1{,}29789 \text{ Kilogramm.}$$

Wenn sich die Mischung von dem Volumen 1 Cubikmeter ausgedehnt hat, bis ihre Spannung nur noch dem constanten Atmosphärendrucke gleich, also $S = 760$ Millimeter diese Spannung ist, so ist das Volumen der Mischung

$$1 \, . \, \frac{S + S_1}{S} = \frac{764{,}6}{760} \text{ Cubikmeter,}$$

und für 1 Cubikmeter von dieser Mischung bei der Spannung $S = 760$ Millimeter ist das Gewicht gerade in dem Verhältnisse geringer, als der Raum grösser geworden, und dieses Gewicht ist folglich

$$\frac{760}{764{,}6} \, . \, 1{,}29789 = 1{,}29008 \text{ Kilogramm.}$$

Dieses ist das Gewicht von einem Cubikmeter der mit Wasserdampf in einem gewissen Grade bei 760 Millimeter Spannung und bei einer Temperatur von 0^0 vermengten Luft, und es ist, wie man sieht, etwas geringer, als das Gewicht von 1 Cubikmeter trockner Luft von derselben Spannung und Temperatur.

Beispiel 2.

Das specifische Gewicht der trocknen Luft von 100^0 C. ist $\frac{1}{1{,}3665}$ oder 0,7218 auf Luft von gleicher Spannkraft und 0^0 als Ein-

heit bezogen. Unter dem Drucke $S = 760$ Millimeter wiegt sohin 1 Cubikmeter Luft von 100° C.:

$$1{,}293 \,.\, 0{,}7318 \text{ Kilogramm, oder es ist}$$

$$P = 0{,}946 \text{ Kilogramm.}$$

Wird der Raum von 1 Cubikmeter mit Dampf von 100° C. gesättigt, so hat dieser Dampf die Spannung $S_1 = S = 760$ Millimeter, und das Gewicht: $P_1 = 0{,}59192$ Kilogramm. Die Mischung hat also die Spannkraft $2\ S$, muss folglich unter dem constanten äusseren Drucke S den doppelten Raum, nämlich 2 Cubikmeter haben. Alsdann hat man für das Gewicht von 1 Cubikmeter der Mischung

$$\frac{P + P_1}{2} = 0{,}76896 \text{ Kilogramm.}$$

Dieses Gewicht ist aber viel geringer als das Gewicht der trocknen Luft von demselben Volumen, derselben Temperatur und Spannung, nämlich

$$P = 0{,}946 \text{ Kilogramm.}$$

Man sieht aus den beiden Beispielen, dass die Differenz der Gewichte der trocknen und feuchten Luft unter den gemachten Voraussetzungen mit der steigenden Temperatur auch grösser wird.

Die vorstehenden Untersuchungen geben über das Gewicht der vollständig mit Wasserdampf gesättigten Luft keinen directen Aufschluss; denn wenn die Luft in dem angenommenen einen Cubikmeter mit Dampf gesättigt war, so hätte sie nach der Vergrösserung des Raumes noch mehr Dampf aufnehmen können. Wird diese Luft in dem grösseren Raume wieder mit Dampf gesättigt, so wird auch die Spannung wieder grösser, und um mit dem äusseren Drucke im Gleichgewichte zu sein, muss sich diese Mischung wieder ausdehnen, dann ist sie abermals nicht mehr mit Dampf gesättigt u. s. f. Einen bestimmteren Aufschluss über das Gewicht der feuchten Luft, wenn dieselbe vollkommen oder in einem beliebigen Grade mit Feuchtigkeit gesättigt ist, wird folgende Untersuchung gewähren.

Eine wasserfreie Luftmasse von der dem äusseren Drucke gleichen Spannkraft S sei in einem Raume von 1 Cubikmeter eingeschlossen, welcher Raum durch einseitigen, überwiegenden Druck veränderlich sei und ohne Inanspruchnahme der Luft und des Dampfes auf äussere Arbeit beständig der Ausdehnung entsprechend vergrössert werde, was anzunehmen in Rücksicht auf den Zweck gegenwärtiger Betrachtung zulässig ist. Der Raum werde mit Dampf von der Temperatur der Luft und der entsprechenden Spannkraft S_1 gesättigt. Auch sei dem Raume eine hinlängliche Dampfmenge mittheilbar, um denselben nach der durch

Erhöhung der Spankraft erfolgten Ausdehnung beständig mit Dampf von der Spannkraft S_1 gesättigt zu erhalten. Der äussere Druck sei unveränderlich und von der Grösse S.

Unter diesen Umständen wird die eigentliche Luft in der Mischung, weil stets die Spannkraft der Mischung gleich der Summe der Spannkräfte der Bestandtheile ist, sich so weit ausdehnen, bis ihre in dieser Weise verminderte Spannkraft sammt der constanten Spannkraft des den Raum sättigenden Dampfes gleich dem äusseren Drucke ist; oder mit anderen Worten: die Luft braucht nur die Spannung $(S - S_1)$ zu haben, weil ein Theil S_1 des äusseren Druckes durch die Spannkraft S_1 des den Raum sättigenden Dampfes aufgehoben wird. Wenn die Luft bei der Spannung S den Raum 1 Cubikmeter einnimmt, so muss dieselbe Luftmasse bei der geringeren Spannung $(S - S_1)$ einen grösseren Raum, allgemein ausgedrückt n Cubikmeter einnehmen, und weil die Producte aus den Räumen und den zugehörigen Spannungen für dieselbe Luftmasse und dieselbe Wärme einander gleich sein müssen, so hat man die Gleichung:

$$n\,(S - S_1) = 1\,.\,S$$

$$n = \frac{S}{S - S_1} \text{ Cubikmeter.}$$

Das Gewicht von 1 Cubikmeter trockner Luft bei der Spannung S sei P; bei der Spannung $(S - S_1)$ ist das ganze Gewicht der im Raume von n Cubikmeter vertheilten Luft noch immer P, aber das Gewicht für 1 Cubikmeter nur $\frac{1}{n}\,P$. Zu diesem Gewichte kommt nun das Gewicht des den Raum von 1 Cubikmeter bei der betreffenden Temperatur sättigenden Dampfes von der Spannung S_1, dessen Gewicht P_1 sei. Alsdann hat man für 1 Cubikmeter der Mischung das Gewicht $P_1 + \frac{1}{n}\,P$ oder mit Rücksicht auf den Werth von n das Gewicht:

$$P_1 + \frac{S - S_1}{S}\,.\,P$$

Es fragt sich nun, wie sich dieses Gesammtgewicht von 1 Cubikmeter der Mischung zu dem Gewichte P von 1 Cubikmeter trockner Luft verhält. Die drei Fälle, welche möglicherweise angenommen werden können, erscheinen in folgender Zusammenstellung der Gewichte vereinigt:

$$P_1 + \frac{S - S_1}{S}\,.\,P \gtreqless P$$

Je nachdem hierin das obere, mittlere oder untere Zeichen richtig ist, oder vielmehr nach bekannten Sätzen richtig sein muss, muss auch das Gewicht von einem Cubikmeter der Mischung grösser, ebensogross oder geringer sein, als das Gewicht von einem Cubikmeter der trocknen Luft. Durch gleichmässige Veränderung der letzten Gleichung oder Ungleichung erhält man einfachere Ausdrücke, ohne dass dadurch etwas an der Richtigkeit oder der Bedeutung des Ganzen geändert wird, nämlich:

$$P_1 \gtreqless P\left(1 - \frac{S - S_1}{S}\right)$$

oder

$$P_1 \gtreqless P\,\frac{S_1}{S}$$

Von den drei Zeichen der Gleichheit und Ungleichheit kann nur das untere gelten, weil aus bekannten Gründen (§. 56) die Gleichung stattfindet:

$$P_1 = 0{,}6225\; P\,\frac{S_1}{S}$$

also jedenfalls auch

$$P_1 < P\,\frac{S_1}{S}$$

sein muss.

Ein Cubikmeter der mit Wasserdampf gesättigten Luft wiegt also weniger, als ein Cubikmeter trockner Luft bei derselben Temperatur und Spannkraft.

Ganz in derselben Weise hätte die vorliegende Untersuchung auch durchgeführt werden können, wenn man die Luft nur in einem gewissen Grade, etwa zur Hälfte oder $\frac{1}{6}$ oder allgemein $\frac{1}{m}$ mit Dampf gesättigt angenommen hätte. Dann ist in der ganzen Untersuchung statt des Gewichtes P_1 nur $\frac{P_1}{m}$ und ebenso statt der Spannung S_1 dieser Dampfmenge nur $\frac{S_1}{m}$ zu setzen; denn unter der gemachten Voraussetzung irgend einer bestimmten Temperatur sind die Spannungen des Dampfes den Gewichten dieses Dampfes für gleiche Räume proportional. Die Schlussgleichung wird unter dieser allgemeinen Annahme von $\frac{1}{m}$ Sättigung:

$$\frac{P_1}{m} = 0{,}6225 \ P \ \frac{S_1}{mS}$$

und ebenso ist auch:

$$\frac{P_1}{m} < P \frac{S_1}{mS}$$

Dieses Resultat kann man aus dem Schlusse der vorhergehenden Untersuchung sogleich erhalten, wenn man dort beide Seiten durch m dividirt, was bekanntlich nach algebraischen Grundsätzen an der Richtigkeit Nichts ändert.

Hätte man die ganz allgemeine Untersuchung von $\frac{1}{m}$ Sättigung zuerst behandelt, so wäre für vollständige Sätigung $\frac{1}{m} = 1$ zu setzen, und das Resultat wäre dasselbe wie vorhin.

Ob nun also der Raum vollständig oder nur theilweise mit Dampf gesättigt ist, immer ist das Gewicht des Dampfes geringer, als das einer gleichwarmen Luftmasse, welche, zu der früheren hinzukommend, die gleiche Ausdehnung des Raumes veranlassen würde.

Demnach trägt das Hinzukommen des Dampfes verhältnissmässig mehr zur Vergrösseruug des Volumens der Luft als zur Vergrösserung des absoluten Gewichts bei. Da aber die Verminderung des specifischen Gewichts dieser doppelten Veränderung in der erwähnten Weise, dem Quotienten aus dem Volumen und absoluten Gewicht proportional ist, so leuchtet ein, dass bei grösserer Menge des aufgenommenen Dampfes das specifische Gewicht der Luft geringer werden muss, und unter sonst gleichen Umständen am geringsten, wenn die Luft vollständig mit Dampf gesättigt ist.

Man ist nach diesem berechtigt allgemein zu behaupten:

Das specifische Gewicht der feuchten Luft ist immer geringer, als das specifische Gewicht der trocknen Luft von derselben Temperatur und Spannkraft.

Die angehängte Bedingung, gleiche Temperatur und Spannkraft, ist deshalb nicht zu übersehen, weil die trockne Luft selbst ihr specifisches Gewicht nach dem äusseren Drucke und der Temperatur ändert. Auch unter scheinbar gleichen Umständen kann das spefische Gewicht der Luft ein grösseres werden, wenn die Dampfbildung auf Kosten der Wärme dieser Luft geschieht. Dann hat aber die Mischung nicht mehr dieselbe Temperatur wie die vorher vorhandene trockne Luft.

Beispiel 3.

Ein Cubikmeter trockne Luft bei 0° und unter dem Atmosphärendruck $S = 760$ Millimeter wiegt

$$P = 1{,}293 \text{ Kilogramm.}$$

Bei 0° ist die Spannkraft des gesättigten Dampfes 4,6 Millimeter. Soll unter dem äusseren Drucke $S = 760$ Millimeter die Luft von 0° mit Dampf gesättigt sein, so ist das Gewicht der mit der Spannkraft $S - S_1$ in einem Gubikmeter bleibenden eigentlichen Luft:

$$\frac{S - S_1}{S} \cdot P = \frac{760 - 4{,}6}{760} \cdot 1{,}293 = 1{,}285 \text{ Kilogramm.}$$

Dieses Gewicht werde mit p bezeichnet.

Dazu kommt noch das Gewicht des im Zustande der Sättigung in einem Cubikmeter enthaltenen Dampfes bei 0°, nämlich

$$P_1 = 0{,}004\,89 \text{ Kilogramm.}$$

Demnach wiegt ein Cubikmeter der gesättigten Mischung bei 0°:

$$p + P_1 = 1{,}289\,89 \text{ Kilogramm.}$$

In Beispiel 1 wurde das Gewicht der feuchten Luft bei 0° und bei 760 Millimeter Druck etwas grösser gefunden, nämlich 1,290 08 Kilogramm, weil nach der dortigen Annahme die Luft nicht vollkommen mit Feuchtigkeit gesättigt war.

Beispiel 4.

Die Spannkraft des Dampfes, welcher bei 100° C. einen Raum sättigt, ist gleich dem Atmosphärendrucke $S = 760$ Millimeter. Wollte man bei gestatteter Ausdehnung unter dem constanten Drucke S die Luft mit Dampf von 100° sättigen, so müsste die in dem einen Cubikmeter zugleich mit dem Dampfe verbleibende Luft das Gewicht haben

$$\frac{S - S}{S} P = \text{Null.}$$

Die Luft würde demnach, weil ihre anfänglich dem äusseren Drucke S das Gleichgewicht haltende Spannkraft S gar nicht mehr nöthig ist, sobald der Dampf mit der Spannkraft S den Raum erfüllt, sich selbst in einen unendlich grossen Raum ausbreiten müssen, sie wird aus dem nicht unendlich grossen Raume, welcher mit Dampf gesättigt ist, gänzlich vertrieben.

Von einer Mischung der Luft mit Dampf kann hiebei keine Rede sein; das Gewicht für 1 Cubikmeter beträgt 0,591 92 Kilogramm, welches Gewicht kein Anderes ist, als das des Dampfes, welcher bei 100° C. den Raum von einem Cubikmeter sättigt.

Zuweilen ist das specifische Gewicht feuchter Luft in der Atmosphäre, auf Wasser als Einheit bezogen, in Berechnungen einzu-

führen. Dieses lässt sich zwar nach den obigen Angaben finden, doch mag dafür hier eine Gleichung aufgestellt werden.

Die specifischen Gewichte verhalten sich wie die absoluten Gewichte der Volumeneinheiten. Es setzt sich also auch das specifische Gewicht s der feuchten Luft in gleicher Weise zusammen wie das absolute der Volumeneinheit, nämlich aus dem specifischen Gewichte s_1 der wasserfreien Luft und dem specifischen Gewichte s_2 des damit vermischten Dampfes.

Für die wasserfrei gedachte Luft von der Temperatur t^0 C. in der feuchten Atmosphäre ist bei einer dem jeweiligen Barometerstande gleichen Spannung S der Mischung und bei der Dampfspannung S_1 das specifische Gewicht s_1:

$$s_1 = \frac{0{,}001\,293 \,.\, (S - S_1)}{760 \,.\, (1 + 0{,}003\,665\, t)}$$

Für den Wasserdampf von der Temperatur t^0 C. und der dabei dem jeweiligen Sättigungsgrade entsprechenden Spannung S_1 ist das specifische Gewicht s_2:

$$s_2 = \frac{0{,}6225 \,.\, 0{,}001\,293 \,.\, S_1}{760 \,.\, (1 + 0{,}003.665\, t)}.$$

Mithin ist das specifische Gewicht der beiden Mischungsbestandtheile zusammen:

$$s = s_1 + s_2 = \frac{0{,}001\,293\, (S - S_1 + 0{,}6225\, S_1)}{760 \,.\, (1 + 0{,}003\,665\, t)}.$$

Der eingeklammerte Ausdruck im Zähler kann geschrieben werden:

$$S - S_1\, (1 - 0{,}6225) = S - 0{,}3775\, S_1$$

dann wird durch Substitution:

$$s = \frac{0{,}001\,293\, (S - 0{,}3775\, S_1)}{760\, (1 + 0{,}003\,665\, t)}.$$

Dieses ist, auf Wasser als Einheit bezogen, das specifische Gewicht der feuchten Luft.

Bei der Anwendung dieser Gleichung ist S als die Spannung der feuchten Luft gleich dem beobachteten Barometerstande in Millimetern zu setzen, ferner S_1 als die Spannung des darin enthaltenen Wassergases nach der beobachteten Temperatur aus der Tabelle §. 56 zu entnehmen und nach dem gleichzeitig beobachteten Hygrometerstande auf die Procente der Sättigung zu reduciren.

Zeigt z. B. das Thermometer 18° C. und das Hygrometer 60% der Maximalfeuchtigkeit, so ist nach der Tabelle §. 56 bei 18° die Maximal-Dampfspannung 15,36 Millimeter und für die relative Feuchtigkeit von

60 % wird die entsprechende Dampfspannung auch 60% der Maximalspannung, also

$$S_1 = 0{,}6 \; . \; 15{,}36 = 9{,}216 \text{ Millimeter.}$$

Die obige Gleichung für s stellt auch zugleich das absolute Gewicht der feuchten Luft für 1 Cubikdecimeter oder Liter in Kilogramm und für 1 Cubikcentimeter in Gramm dar.

Bezeichnet man aber mit P das absolute Gewicht von 1 Cubikmeter in Kilogramm, so ist $P = 1000 \; . \; s$, folglich

$$P = \frac{1{,}293 \; (S - 0{,}3775 \; S_1)}{760 \; (1 + 0{,}003\,665 \; t)} \text{ Kilogramm.}$$

§. 58.

Condensation des Wassergases in der Luft. Luftvolumen nach der Condensation.

Wie durch Erwärmung die Feuchtigkeitscapacität der Luft erhöht wird, so dass dieselbe, wenn sie auch vorher mit Dampf gesättigt war, noch eine neue Menge Wassers in Gasform in sich aufnimmt, so wird umgekehrt durch Abkühlung der Luft deren Feuchtigkeitscapacität vermindert, sie vermag, wenn sie in wärmerem Zustande auch nicht vollkommen mit Dampf gesättigt war, bei bedeutender Abkühlung einen Theil des Wassers nicht mehr aufgelöst zu halten, es entsteht Condensation.

Die Abkühlung der Luft, eventuell die Condensation des Wassergases in derselben, kann nun dadurch geschehen, dass die Luft, mit kälteren Körpern in Berührung kommend, an diese einen Theil ihrer Wärme abgiebt, oder dadurch, dass, was im Grunde nichts Anderes ist, Luftmassen von verschiedener Temperatur sich mischen.

Die Condensation erstreckt sich in beiden Fällen nur auf eine so grosse Menge des Wassergases, dass der Luft noch das Maximum der relativen Feuchtigkeit bleibt.

Aus den in §. 56 zusammengestellten Zahlen ist ersichtlich, dass die Fähigkeit der Luft, Wasser in sich aufzunehmen, nicht in demselben Verhältnisse wächst, wie die Temperatur zunimmt, sondern viel rascher in höherer Temperatur. Wenn sich also zwei vollkommen feuchte Luftmassen von ungleicher Temperatur vermischen, so muss ein Niederschlag des Wassers in der Form von Nebel, Regen, Schnee oder Eis erfolgen. Die Temperatur der Luftmassen nach der

Vermischung ist, wenn man die beiden ursprünglichen Luftmengen dem Gewichte nach gleich gross annimmt, das arithmetische Mittel der beiden Temperaturen. Nimmt man die beiden Luftmengen nach den Raumtheilen gleich an, so ist die Temperatur der Mischung noch geringer, als die mittlere der beiden Temperaturen. Die nach der Mischung bei der resultirenden Temperatur in dem Raume der vereinigten Luftmassen möglicherweise als Dampf vorhanden bleibende Wassermenge ist geringer, als die darin noch im Momente der Mischung wirklich vorhandene. Die Feuchtigkeitscapacität der Mischung ist geringer, als die durchschnittliche Feuchtigkeitscapacität der sich mischenden Luftmassen von ungleicher Temperatur.

Mischen sich z. B. zwei dem Volumen nach gleiche Luftmengen von 0° und 100° C., so ist die Temperatur der Mischung 42,2°. Auf einen Cubikmeter dieser Luftmischung trifft, wenn die beiden Luftmengen vollkommen feucht waren, die Dampfmenge:

$$\frac{0{,}00489 + 0{,}59192}{2} = 0{,}29840 \text{ Kilogramm.}$$

Damit diese Wassermenge in Gasform in dem einen Cubikmeter aufgelöst bleibe, wäre eine Temperatur von mehr als 80° C. erforderlich. Bei der resultirenden Temperatur der Mischung, nämlich bei 42°, kann 1 Cubikmeter Luft nur etwa 0,056 Kilogramm Wasser als Dampf enthalten. Jedes Cubikmeter Luft enthält folglich die Wassermenge zu viel, welche sich aus der Differenz der beiden letzten Gewichtsmengen ergiebt, also

$$0{,}2984 - 0{,}0560 = 0{,}2424 \text{ Kilogramm.}$$

Aus jedem Cubikmeter Luft muss demnach eine Wassermenge von fast $^1/_4$ Kilogramm herausfallen; auf 100 Cubikmeter, welcher Raum dem eines gewöhnlichen Zimmers gleich ist, macht dieses über 24 Kilogramm oder ebensoviele Liter Wasser.

Schneebildung muss bei der Vermischung feuchter Luftmassen alsdann entstehen, wenn die resultirende Temperatur unter Null ist. Die Mischungstemperatur sinkt schon unter den Gefrierpunkt, wenn sich gleiche Raumtheile Luft mischen, deren Temperaturen in gleichen Abständen über und unter Null liegen, z. B. wenn gleiche Raumtheile von + 10° und — 10° sich mischen. Ferner kann die Mischungstemperatur bedeutend unter den Nullpunkt sinken, wenn die Menge der kälteren Luft, etwa von — 10° sehr gross ist, gegen die Menge der wärmeren, etwa von 20°.

Ein interessantes Beispiel eines solchen Vorgangs giebt die von einigen Schriftstellern gemachte Mittheilung, dass es einmal in Peters-

burg **in einem überfüllten Saale plötzlich schneite**, als ein Officier, um die Hitze zu mildern, ein Fenster einschlug.

Die obigen Anschauungen in Betreff der Temperatur und der Menge des Niederschlages gelten genau nur unter der Voraussetzung, dass die Abkühlung der Luft sehr schnell geschehe, somit auch der Niederschlag fast plötzlich erfolge. Der Zustand der Luft nach der Condensation des Dampfes ist dabei nicht weiter beachtet. Während eine Luftmasse sich abkühlt, der Dampf sich condensirt, muss die Luft, welche denselben enthielt, unter gleichbleibendem äusseren Drucke ein geringeres Volumen annehmen, weil sie vorher durch ihre eigene grössere Wärmemenge sowohl, wie durch die Spannkraft jenes Dampfes auf ein grösseres Volumen ausgedehnt war. Das kleinere Volumen der Luft wäre aber durch eine noch geringere Dampfmenge bei derselben Temperatur schon gesättigt; der Niederschlag muss sich demnach noch vermehren, wenn die bei der Condensation des Dampfes frei werdende Wärmemenge an andere Gegenstände übergeht. Wird aber diese Wärmemenge wieder von derselben Luftmasse aufgenommen, so vermag alsdann diese als wärmere und bei gleicher Spannkraft mehr ausgedehnte Luftmasse auch wieder mehr Wasser in Dampfgestalt in sich zu tragen. Dieses wird stattfinden, wenn die Vermischung ungleich warmer Luftmassen oder die Abkühlung der Luft allmählich geschieht. Es fällt hiebei nicht so viel Wasser aus der Luft, wie bei plötzlicher Abkühlung, und theilweise wird sogar das Wasser, welches schon als Nebel, Dunst, Wolke, Regen die Gasform verlassen hat, durch die freigewordene Wärmemenge wieder in den gasförmigen Zustand zurückgeführt. Immerhin muss die jeweilige Spannkraft und Temperatur der Luft und des Dampfes von wesentlichem Einflusse sein; unter gewissen Umständen wird die Luft vermöge der Spannkraft des Dampfes einen grösseren Raum einnehmen, als nach der Condensation vermöge der frei gewordenen Wärme, unter anderen Umständen kann das Umgekehrte der Fall sein.

Zur näheren Erörterung dieser Umstände mögen die folgenden Untersuchungen dienen.

In einem Cubikmeter mit Dampf gesättigter Luft von der Temperatur 0° seien bei dem äusseren Drucke S enthalten: P Kilogramm Pfund eigentliche Luft und p_1 Kilogramm Dampf von der hierbei entsprechenden Spannkraft S_1; sonach ist die Spannkraft der eigentlichen Luft in der Mischung bei dem äusseren Drucke S nur noch $(S - S_1)$.

Während der Erwärmung auf die Temperatur t^0 wächst das angenommene Volumen von 1 Cubikmeter auf

$$n = (1 + at) \text{ Cubikmeter.}$$

Dabei bleibt die Spannkraft der Mischung wie die der Bestandtheile noch ungeändert, weil während der Erhöhung der Spannkraft durch Wärmeaufnahme zugleich die Ausdehnung dieser erhöhten Spannkraft entsprechend unter dem constanten Drucke S erfolgen musste.

Wird die Mischung, die jetzt bei dem grösseren Volumen und bei der höheren Temperatur nicht mehr soviel Dampf enthält, als sie enthalten könnte, wieder mit Dampf gesättigt, so muss wieder das Volumen bei constantem äusseren Drucke bis zu einer gewissen Grösse zunehmen. Im Zustande der Sättigung bei t^0 sei S_2 die Spannkraft des Dampfes, und das Gewicht für ein Cubikmeter dieses Dampfes p_2 Kilogramm.

Es mag hier bemerkt werden, dass man den Ausdehnungs-Coefficienten der trocknen Luft, nämlich $a = 0{,}003\ 665$ in den gewöhnlichen Fällen auch für feuchte Luft beibehalten kann. Er ist jedoch für feuchte Luft etwas grösser, da, wie Holzmann zuerst nachgewiesen hat, der Ausdehnungscoëfficient des Wasserdampfs 0,004 233 ist.

Weil für dieselbe Luftmasse die Producte aus den Räumen und den zugehörigen Spannungen (bei gleichbleibendem Wärmegehalte) gleich sein müssen, so erhält man das Volumen V_1, auf welches die eigentliche Luft in der Mischung bei der ihr nun zukommenden geringeren Spannkraft $(S - S_2)$ sich ausdehnt, aus der Gleichung:

$$n\,(S - S_1) = V_1\,(S - S_2)$$

und daraus ist

$$V_1 = \frac{n\,(S - S_1)}{S - S_2} = \frac{(1 + at)\,(S - S_1)}{S - S_2} \text{ Cubikmeter.}$$

Dieses ist zugleich der Raum, welchen die bei t^0 gesättigte Mischung unter dem äusseren Drucke S einnimmt, wenn die bei 0^0 gesättigte Mischung unter demselben äusseren Drucke zu 1 Cubikmeter angenommen ist. Da 1 Cubikmeter Dampf von der Spannung S_2 das Gewicht p_2 Kilogramm haben soll, so wiegt der in dem Raume V_1 enthaltene Dampf $V_1 \,.\, p_2$ Kilogramm.

Wenn aber die bei t^0 mit Dampf gesättigte Luftmasse von t^0 auf 0^0 rasch abgekühlt wird, so muss dadurch zunächst die Dampfmenge vom Gewichte $(V_1\,p_2 - p_1)$ Kilogramm als Wasser herausfallen, und es muss das erste Volumen, welches die mit Dampf gesättigte Luft bei 0^0 hatte, nämlich 1 Cubikmeter bei constantem äusseren Drucke wieder zum Vorschein kommen. Es setzt diese Annahme aber voraus, dass eine in der Mischung bei t^0 angesammelte bestimmte Wärmemenge, ebenso wie dieselbe bei der Erwärmung von 0^0 auf t^0 und zur Dampfbildung für die letzte Sättigung durch eine äussere Wärmequelle geliefert wurde, auch wieder vollständig der Mischung entzogen werde.

Nun werde aber der viel näher liegende Fall angenommen, dass durch äussere Einwirkung die Mischung einen eigentlichen Wärmeverlust von der Grösse erleide, dass ihre Temperatur dadurch plötzlich von t^0 auf 0^0 sinke, dass aber alsdann die bei der erfolgenden Condensation des Wasserdampfes frei werdende Wärmemenge wieder von der übrigen feuchten Luft aufgenommen werde.

Für die Verwandlung in Dampf braucht 1 Kilogramm Wasser die Verdampfungswärme, allgemein w Wärmeeinheiten. Diese sogenannte latente Wärme muss wieder zum Vorschein kommen, frei werden, sobald ein Kilogramm Dampf sich condensirt. Demnach werden aus der ganzen sich niederschlagenden Dampfmenge im vorliegenden Falle $(V_1\, p_2 - p_1) \,.\, w$ Wärmeeinheiten frei. Wenn diese an die Luft desselben Raumes übergehen, so müssen sie die Temperatur der Luft erhöhen und bei gleichbleibendem äusseren Drucke auch das Volumen derselben erweitern. Nun weiss man, dass für die Temperaturerhöhung um 1^0 C. ein Kilogramm trockne Luft 0,2377 Wärmeeinheiten nöthig hat, und ein Kilogramm Wasserdampf 0,4750 Wärmeeinheiten. Um also die Temperatur der vorhandenen Mischung von 0^0 auf 1^0 zu erhöhen, sind $(P \,.\, 0{,}2377 + p_1 \,.\, 0{,}4750)$ Wärmeinheiten nöthig. So oft dieser Bedarf an Wärme für je 1^0 Temperaturerhöhung in dem obigen freigegebenen Wärmevorrath enthalten ist, um so viele Grade muss die Temperatur der Mischung sich erhöhen. Bezeichnet man die Anzahl dieser Grade mit x, so ist

$$x = \frac{(V_1\, p_2 - p_1) \,.\, w}{P \,.\, 0{,}2377 + p_1 \,.\, 0{,}475} \text{ Grade C.}$$

Bei dieser Temperatur x^0 wird das angenommene ursprüngliche Volumen 1 Cubikmeter der Luft unter dem Drucke S auf ein grösseres Volumen V_2 gebracht und es ist:

$$V_2 = (1 + a\,x) \text{ Cubikmeter.}$$

Je nachdem nun $V_2 \gtreqless V_1$ ist, wird vermöge der aus dem niedergeschlagenen Dampfe frei gewordenen Wärme die nun verhältnissmässig wenig Wassergas enthaltende Luft ein grösseres, ebensogrosses, oder kleineres Volumen einnehmen, als die Mischung vorher vermöge der Spannkraft der in ihr enthaltenen grösseren Dampfmenge. Es kann, wie sich durch Berechnung einiger Beispiele unter sehr verschiedenen Annahmen erkennen lässt, jeder der drei Fälle eintreten.

§. 59.

Vorrichtungen und Instrumente zur Beobachtung der Luftfeuchtigkeit.

Wo es nur darauf ankommt, bedeutende Zunahme und Abnahme der Luftfeuchtigkeit zu erkennen und verschiedene Feuchtigkeitszustände ungefähr zu schätzen, da kann man sich der Hygroskope (Nässespäher, Feuchtigkeitszeiger) bedienen.

Um aber den Grad der Sättigung der Luft mit Wassergas genauer beobachten und messen zu können, braucht man die Hygrometer (Feuchtigkeitsmesser). Es giebt viele Instrumente beider Arten; nur wenige jedoch eignen sich für die hier massgeblichen Zwecke der Heizung und Ventilation.

Vorrichtungen wie das sogenannte Wetterhäuschen und ähnliche Darmsaitenhygroskope, ferner die aus den spiralförmigen Grannen des Reiherschnabels oder aus dünnen Brettchen u. dgl. gefertigten Hygroskope als zu unvollkommen und auch bekannt übergehend, glaube ich als neue und interessante Vorrichtung dieser Art das Farbenhygroskop bezeichnen zu dürfen, welches in §. 60 beschrieben wird.

Als Hygrometer hat man bisher vorzugsweise das August'sche Psychrometer (Nasskältemesser) benützt, bei welchem die relative Feuchtigkeit aus den durch Verdunstung von Wasser veranlassten, unmittelbar auf eines von zwei übereinstimmenden Thermometern wirkenden Abkühlung berechnet werden kann.

Dieses Psychrometer gestattet aber keineswegs eine in erwünschter Weise einfache Benützung, da die richtige Instandhaltung der Verdunstungseinrichtung leicht versäumt wird und jede Beobachtung einige Mühe und Zeit beansprucht; zudem ist es nicht sehr zuverlässig, da die Abkühlung des befeuchteten Thermometers nicht allein von der relativen Trockenheit der Luft, sondern auch in hohem Grade von den Luftbewegungen abhängig ist.

Man giebt deshalb dem vor mehr als hundert Jahren erfundenen Haarhygrometer, im Wesentlichen nach der Construction von Saussure, trotz einiger Mängel noch heute vielseitig den Vorzug.

Die Einrichtung des Saussure'schen Haarhygrometers ist folgende:

Ein durch Kochen in Kalilauge oder durch Einlegen in Aether entfettetes Menschenhaar ist an dem einen Ende befestigt, an dem andern um eine Rolle geschlungen, welche einen Zeiger trägt. Ein kleines Gewicht an der Welle der Rolle hält das Haar immer gespannt. Der

Zeiger deutet auf eine kreisförmige Scala, deren Endpunkte oder Fundamentalpunkte auf folgende Weise bestimmt werden:

Man stellt das Instrument in eine Glasglocke, in welcher die Luft vollkommen ausgetrocknet wird. Der Punkt, auf welchen da der Zeiger gelangt, wird als Nullpunkt der Scala, als Punkt der grössten Trockenheit, mit 0 bezeichnet.

Alsdann benetzt man eine Glasglocke innen mit Wasser, bringt das Hygrometer unter dieselbe und schliesst noch die Luft in der Glocke von der äusseren Luft durch Wasser ab. Wenn man nach einiger Zeit bemerkt, dass das Haar sich nicht mehr ausdehnt, so bezeichnet man den Punkt, auf welchen jetzt der Zeiger trifft, als den Punkt der grössten relativen Feuchtigkeit mit 100. Der Zwischenraum zwischen den beiden so bestimmten Fundamentalpunkten wird in 100 gleiche Theile getheilt.

Zum Zwecke des Austrocknens der Luft bei der Bestimmung des Nullpunkts bringt man unter die Glocke einige Stücke frisch gebrannten Kalkes, welche das Wasser ansaugen, oder eine Schale mit concentrirter Schwefelsäure.

Ein sehr zu berücksichtigender und nicht allgemein bekannter Umstand ist der, dass bei einem solchen gleichmässig getheilten Haarhygrometer die Hygrometergrade den Procenten der Maximalfeuchtigkeit keineswegs entsprechen. So stellt sich bei halber Sättigung, bei einer relativen Feuchtigkeit von 50 Procent der Zeiger des Haarhygrometers auf ungefähr 72.

Im Allgemeinen gilt von den Haarhygrometern Folgendes:

Alle Haare, besonders die blonden Menschenhaare sind empfindliche hygroskopische Körper; aber sie werden bei langer Trockenheit weniger empfindlich, in gewissem Grade schlaff.

Bei der Anwendung für Hygrometer kommt dazu noch das stärkere Schlaffwerden durch die nothwendige Spannung, die leicht eine allmähliche Verlängerung des Haares veranlasst, und das um so mehr, weil das bei zunehmender Lufttrockenheit sich verkürzende Haar den Widerstand des Mechanismus überwinden muss. In Folge dieser Umstände zeigt ein auf das Sorgfältigste ausgeführtes und unmittelbar nach Fertigstellung der Scala richtiges Haarhygrometer nach einigen Monaten oder schon nach viel kürzerer Zeit, sogar in derselben Stunde nach Transporterschütterungen, nicht mehr richtig, und man hat früher angenommen, dass bei aller Vorsicht das Haar allmählich die für ein Hygrometer nothwendige Empfindlichkeit verliere und desshalb von Zeit zu Zeit durch ein neues ersetzt werden müsse.

In neuester Zeit hat Dr. C. Koppe dem Haarhygrometer eine Einrichtung gegeben, bei welcher es als ein sehr werthvolles und zuverlässiges Hygrometer zu empfehlen ist.

Das Haar wird durch eine Feder nur wenig gespannt, die Scala ist ungleichmässig getheilt, so dass sie direct die relative Feuchtigkeit in Procenten der Maximalfeuchtigkeit angiebt, und die Controle der Richtigkeit, eventuell die Justirung, die jeder wichtigen Beobachtung vorausgehen soll, ist schnell und leicht ausführbar. Es wird zu diesem Zwecke in das Hygrometergehäuse eine nasse Zeugwandung unmittelbar hinter dem Haare eingeschoben, wonach sich der Zeiger auf 100 einstellen muss, andern Falles durch Drehung eines Zäpfchens mittels eines Uhrschlüssels eingestellt wird.

Ich habe mit einem solchen Koppe'schen Haarhygrometer [1]) seit 16 Monaten vergleichende Beobachtungen gemacht, wobei sich zwar sehr häufig die Nothwendigkeit der Correction ergab, jedoch auch zeigte, dass nach einer solchen das Hygrometer immer wieder seine ursprüngliche Richtigkeit und Empfindlichkeit erlangt.

Es ist demnach mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen, dass die Auswechselung des Haares in vielen Jahren nicht, und vielleicht niemals nothwendig sein wird. Das durch Trockenheit und Spannung namentlich auch durch Erschütterungen gedehnte und schlaff gewordene Haar zieht sich durch die Befeuchtung wieder zusammen; die Feuchtigkeit scheint eine Regeneration des abnorm gewordenen Gefüges herbeizuführen.

So schätzenswerth das Koppe'sche Haarhygrometer ist, so hat doch das von mir im Jahre 1867 construirte und seit 1872 in einigen Zeitschriften publicirte Hygrometer für den Gebrauch in Wohnräumen einige Vorzüge. Allerdings haften ihm auch einige Mängel an. Indem ich dessen Theorie und Beschreibung in §. 61 folgen lasse, hege ich die Hoffnung, dass diese Mittheilungen vielleicht Veranlassung zu der Construction eines auf gleichen einfachen Principien beruhenden Hygrometers geben könnten, bei welchem die noch vorhandenen Mängel beseitigt werden.

---

1) Dr. C. Koppe's Haarhygrometer werden gefertigt in der mathematischen Werkstätte von Hottinger & Comp., Nachfolger von J. Goldschmid in Zürich.

§. 60.

Wunderbilder, Barometrische Blumen, Farbenhygrometer.

Die hier mitzutheilenden Gegenstände sind der Form nach neu, aber dem Wesen nach ziemlich alt. Den Chemikern war längst bekannt, dass Kobaltchlorür, welches man durch Auflösen von Kobaltoxydul in Salzsäure erhält, eine Flüssigkeit von merkwürdiger Beschaffenheit ist, nämlich eine sogenannte sympathetische Dinte, womit auf Papier fast unsichtbare, blassröthliche Schriftzüge aufgetragen werden können, die beim Erwärmen sichtbar, und zwar schön blau werden, in der Kälte aber wieder verschwinden. Im Grunde ist es nicht richtig, dass diese Erscheinungen Wirkungen der hohen und niederen Temperatur sind; die eigentliche Ursache liegt in der relativen Trockenheit und Feuchtigkeit. In heissem Dampfe ist die Erscheinung dieselbe wie in der gewöhnlich relativ feuchten kalten Luft, und in der kalten Luft unter einer Trockenglocke dieselbe wie in der Ofenhitze.

Dieses eigenthümliche Verhalten des Kobaltchlorürs hat man seit 1877 zur Anfertigung von sogenannten Wunderbildern und barometrischen Blumen benützt.

Ueber erstere ist nach dem Obigen nichts weiter zu sagen.

Letztere werden aus weissem Zeuge, Battist, Perkal u. dgl. angefertigt und mit einer Lösung von Kobaltchlorür getränkt. In feuchtem Zustande sind sie rosenroth, in trockenem blau.

Zwischen roth und blau zeigen sich natürlich verschiedene Uebergangsfarben, von welchen man genauer auf die relative Feuchtigkeit der Luft schliessen kann. Solche Blumen können desshalb als Hygroskope benützt werden.

Zum Zwecke der besseren Abschätzung der relativen Feuchtigkeit werden sich die in den Fig. 48 und 49 etwa in wirklicher Grösse dargestellten Vorrichtungen eignen, welche ich Farben-Hygroskope nennen will. Die rechteckige grössere Fläche in Fig. 48, ebenso die innere Kreisfläche in Fig. 49, soll ein lose befestigtes Stück von weissem, mit Kobaltchlorür getränktem Zeug oder Papier vorstellen. Die Farben der Scala werden nach Beobachtungen aufgetragen. Die Intensität der blauen Farbe ergiebt sich unter einer Trockenglocke oder über einem heissen Ofen, die der rothen unter einer mit Wasserdampf gefüllten Glasglocke. Als solche kann auch ein innen mit Wasser benetztes grosses Trinkglas dienen.

Die Zwischenfarben werden am besten nach einem zuverlässigen

Hygrometer durch Beobachtungen bei verschiedenen Feuchtigkeitsgraden festgestellt. Sie sind nicht immer gleich, sondern wie schon die äussersten Farben Blau und Roth, nach der Beschaffenheit der Lösung, nach

Fig. 48. Fig. 49.



der Art des getränkten Körpers und nach der Stärke der Tränkung verschieden. Enthält die Lösung Nickeloxydul oder Eisenoxydul, so erscheint je nach deren Menge Blaugrün oder Grün statt Blau.

In der Mitte zwischen Blau und Roth sollte man Violett vermuthen; doch habe ich diese Farbe niemals rein erhalten, in der Regel mehr weiss oder mehr grau.

Dass solche Farbenhygroskope dienlich sein können, um zu beurtheilen, ob die Luft in einem Zimmer zu trocken oder zu feucht ist, davon habe ich mich einen Winter hindurch genügend überzeugt. Die Anfertigung ist nicht schwierig und wird den meisten Lesern, die sie versuchen, gelingen; sie erfordert nur Zeit und Geduld. Die Kosten für die nöthige kleine Menge Kobaltchlorür-Lösung, welche man bei jedem Chemiker und in jeder Apotheke wird erhalten können, sind sehr gering.

§. 61.

Beschreibung und Theorie des Wolpert'schen Procent-Hygrometers.

Den wesentlichen Bestandtheil des Instruments nenne ich Hygrometerfaden; er muss ein hygroskopischer Körper sein, welcher bei veränderten Feuchtigkeitszuständen sich krümmt und wieder streckt,

also Curven bildet: die Fadencurven. Ist der Faden an einem Ende befestigt, so wird das andere Ende sich in einer Curve bewegen: die Hygrometercurve.

Auf dieser Curve oder auf einem dazu in bestimmter Relation stehenden Kreisbogen ist die Scala einzutheilen: die Hygrometerscala. (Vgl. Fig. 53, S. 160.)

Endlich ist nach den allgemeinen Untersuchungen auch ein geeignetes Material des hygroskopischen Bestandtheils anzugeben.

In dieser Reihenfolge soll hier die Theorie und Beschreibung des Procent-Hygrometers folgen.

Der Hygrometerfaden und die Fadencurven.

Ein biegsamer, fadenähnlicher Körper bestehe nach seiner ganzen Länge aus zwei über einander liegenden, fest verbundenen Schichten, einer sehr dünnen, in ihrer Länge, Breite und Dicke unveränderlichen, nicht hygroskopischen und einer ebenso dünnen oder auch dickeren hygroskopischen Schicht, deren Dicke in vollkommen feuchtem Zustande D sei. Wird der Faden, welcher im feuchten Zustande als gerade angenommen werden mag, trockener, so erfolgt eine Biegung desselben, und wenn hiebei alle Theilchen der hygroskopischen Schicht gleichmässig schwinden, so muss die Gestalt des Fadens immer ein Kreisbogen sein.

Fig. 50.

Für irgend einen Trockenheitsgrad sei nun (Fig. 50)
R der Radius der hygroskopischen Schicht mit Einschluss ihrer Dicke,
L die Länge an der convexen Seite dieser Schicht,
l die Länge an der concaven Seite derselben,
d die Dicke der hygroskopischen Schicht.

Dann verhält sich

$$R : (R - d) = L : l$$

woraus gefunden wird: $Rl - RL = - Ld$ oder

$$R = \frac{L\,d}{L - l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Um die veränderlichen Grössen d und $(L - l)$ mit Einführung von allgemeinen Schwindcoëfficienten auszudrücken, werde vorerst angenommen, das Schwinden der hygroskopischen Schicht bei zunehmender Trockenheit erfolge gleichmässig nach allen Dimensionen und es sei allgemein

$$L - l = \frac{m}{n} L \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

ebenso

$$D - d = \frac{m}{n} D,$$

also

$$d = D \frac{n - m}{n} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

Dann erhält man durch Substitution in Gleichung (1)

$$R = \frac{L D \frac{n - m}{n}}{\frac{m}{n} L} = D \frac{n - m}{m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

Je grösser demnach der Werth des Schwindcoëfficienten $\frac{m}{n}$ ist und je kleiner die Dicke der hygroskopischen Fadenschicht, desto kleiner wird unter sonst gleichen Umständen der Krümmungsradius, desto bedeutender also die Krümmung der Fadencurve.

Für $\frac{m}{n} = \frac{1}{100}$ wäre $R = 99\ D$,

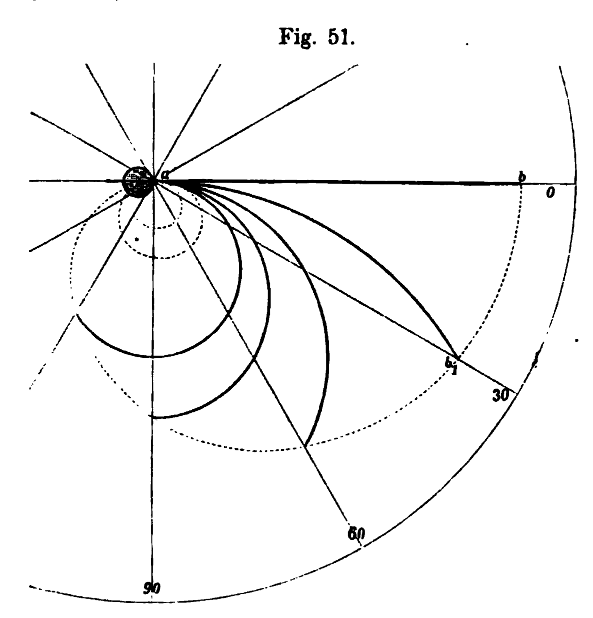
für $\frac{m}{n} = \frac{1}{1000}$ wäre $R = 999\ D$.

Je nachdem der Faden verhältnissmässig kurz oder lang genommen wird, bildet die Fadencurve im Zustande der Trockenheit einen Theil eines Kreises oder einen vollen Kreis oder auch mehrere sich deckende Kreise. Dieses ergiebt sich klar und unmittelbar als theoretische Folgerung; in der Wirklichkeit gilt es gewöhnlich nur für die Projection des hygroskopischen Fadens, welcher im Raume eine Schraubenlinie bildet, da sich die meisten hygroskopischen Fäden bei der erwähnten Krümmung zugleich ein wenig drehen. Dieser Umstand, welcher für die Theorie unberücksichtigt bleiben darf, bietet für die Anwendung den Vortheil, dass der Faden sich über einen niederen Befestigungszapfen ungehindert hinweg bewegen kann. Von gegenwärtiger theoretischen Betrachtung ausgeschlossen und auch für die Anwendung weniger geeignet sind solche Fäden, welche sich bedeutend drehen, also bei der Krümmung sich auffallend in windschiefen Flächen bewegen.

Die Hygrometercurve.

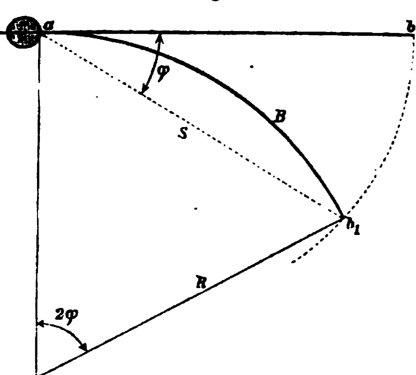
Ist der in feuchtem Zustande gerade hygroskopische Faden (Fig. 51) in einem Punkte a eingeklemmt, so beschreibt das freie Ende b bei zunehmender Trockenheit eine Curve, welche von b bis zur erstmaligen Ueberschreitung des Punktes a Aehnlichkeit mit einer Kreisevolvente hat und zum Unterschiede von den kreisbogenförmigen Fadencurven Hygrometercurve genannt werden mag.

Fig. 51.



Eine allgemeine Gleichung für die Hygrometercurve lässt sich wie folgt ermitteln (Fig. 52): Die gerade Fadenlinie ab sei in die Bogenlinie ab_1 übergegangen und es sollen die Polarcoordinaten des Punktes b_1 in Bezug auf den Pol a bestimmt werden.

Fig. 52.



Der Punkt b_1, wie irgend ein Punkt der Hygrometercurve, ist vollständig bestimmt, wenn als Radius vector für den Winkel φ die Sehnenlänge S gefunden ist, welche aber auch von der gegebenen constanten Fadenlänge ab ($= ab_1 =$ Bogenlänge B) unmittelbar abhängig ist. Die allgemeine Gleichung muss demnach die Form haben

$$S = B \,.\, F(\varphi),$$

wobei $F(\varphi)$ irgend eine Function des Winkels φ ist.

Wird mit R der Radius der kreisbogenförmigen Fadencurve B bezeichnet, so hat man mit Einführung des dem Bogen B entsprechenden Centriwinkels, welcher doppelt so gross ist wie der Winkel der Sehne und Tangente und desshalb mit 2φ bezeichnet werde:

$$B = \operatorname{arc} 2\varphi \, . \, R = 2 \operatorname{arc} \varphi \, . \, R \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (5$$

ferner

$$S = 2 \sin \varphi \, . \, R \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6$$

also durch Vereinigung beider Werthe in eine Gleichung:

$$B : S = \operatorname{arc} \varphi : \sin \varphi$$

und daraus

$$S = \frac{B \sin \varphi}{\operatorname{arc} \varphi} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7$$

Dieses ist die gesuchte Gleichung der Hygrometercurve.

Es sei z. B. $\wedge\ \varphi = 0^0$, dann ist

$$S = B \, . \, \frac{0}{0}$$

Der Ausdruck ist unbestimmt; der Quotient der Differentiale ist

$$\frac{B \, . \cos \varphi \, d\varphi}{d\varphi} = B \cos \varphi$$

und giebt für $\varphi = 0$ den bestimmten Werth $S = B$.

Dieses Resultat ist richtig, weil für $\wedge\ \varphi = 0$ der Bogen vollständig mit der Sehne zusammenfällt.

Für $\wedge\ \varphi = 30^0$ wird $\sin 30^0 = 0{,}5$

$$\text{und } \operatorname{arc} 30^0 = \frac{30}{180} \pi = 0{,}5236$$

also

$$S = \frac{B \sin 30^0}{\operatorname{arc} 30^0} = \frac{B \, . \, 0{,}5}{0{,}5236} = 0{,}955 \; B.$$

Für $\wedge\ \varphi = 60^0$ wird $\sin 60^0 = 0{,}866$

$$\text{und } \operatorname{arc} 60^0 = \frac{60}{180} \pi = 1{,}0472$$

somit

$$S = \frac{B \, . \sin 60^0}{\operatorname{arc} 60^0} = \frac{B \, . \, 0{,}866}{1{,}0472} = 0{,}872 \; B.$$

Der variable Radius R, welcher der veränderlichen Sehne S bei constanter Bogenlänge B entspricht, wird bei der Zunahme des Winkels φ immer kleiner und zwar ist nach Gleichung (5)

$$R = \frac{B}{2 \operatorname{arc} \varphi}$$

Beispielsweise

für $\wedge\,\varphi = 0^0$ wird $R = \frac{B}{0} = \infty$

für $\wedge\,\varphi = 30^0$ wird $R = \frac{B}{2\,.\,0{,}5236} = 0{,}955\ B$

für $\wedge\,\varphi = 60^0$ wird $R = \frac{B}{2\,.\,1{,}0472} = 0{,}477\ B.$

Weitere Werthe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Winkel φ in Graden	$\sin\varphi\,.\,R$	$\text{arc}\,\varphi\,.\,R = \frac{\varphi}{180}\pi\,.\,R$	Sehne $S = \frac{\sin\varphi}{\text{arc}\,\varphi}B$ (Radius vector)	Radius der Fadencurve $R = \frac{B}{2\,\text{arc}\,\varphi}$
0	$0{,}000\,R_0$	$0{,}0000\,R_0$	$1{,}000\,B$	$R_0 = \infty$
30	$0{,}500\,R_1$	$0{,}5236\,R_1$	$0{,}955\,B$	$R_1 = 0{,}955\,B = 1\ R_1$
60	$0{,}866\,R_2$	$1{,}0472\,R_2$	$0{,}872\,B$	$R_2 = 0{,}477\,B = 1/2\ R_1$
90	$1{,}000\,R_3$	$1{,}5708\,R_3$	$0{,}636\,B$	$R_3 = 0{,}318\,B = 1/3\ R_1$
120	$0{,}866\,R_4$	$2{,}0944\,R_4$	$0{,}413\,B$	$R_4 = 0{,}239\,B = 1/4\ R_1$
150	$0{,}500\,R_5$	$2{,}6180\,R_5$	$0{,}190\,B$	$R_5 = 0{,}191\,B = 1/5\ R_1$
180	$0{,}000\,R_6$	$3{,}1416\,R_6$	$0{,}000\,B$	$R_6 = 0{,}159\,B = 1/6\ R_1$
210	$-0{,}500\,R_7$	$3{,}6652\,R_7$	$-0{,}136\,B$	$R_7 = 0{,}136\,B = 1/7\ R_1$
240	$-0{,}866\,R^8$	$4{,}1888\,R_8$	$-0{,}206\,B$	$R_8 = 0{,}119\,B = 1/8\ R_1$
270	$-1{,}000\,R_9$	$4{,}7124\,R_9$	$-0{,}212\,B$	$R_9 = 0{,}106\,B = 1/9\ R_1$
300	$-0{,}866\,R_{10}$	$5{,}2560\,R_{10}$	$-0{,}165\,B$	$R_{10} = 0{,}096\,B = 1/10\ R_1$
330	$-0{,}500\,R_{11}$	$5{,}7596\,R_{11}$	$-0{,}086\,B$	$R_{11} = 0{,}087\,B = 1/11\ R_1$
360	$0{,}000\,R_{12}$	$6{,}2832\,R_{12}$	$0{,}000\,B$	$R_{12} = 0{,}079\,B = 1/12\ R_1$
390	$0{,}500\,R_{13}$	$6{,}8068\,R_{13}$	$0{,}073\,B$	$R_{13} = 0{,}073\,B = 1/13\ R_1$
420	$0{,}866\,R_{14}$	$7{,}3304\,R_{14}$	$0{,}118\,B$	$R_{14} = 0{,}068\,B = 1/14\ R_1$
450	$1{,}000\,R_{15}$	$7{,}8540\,R_{15}$	$0{,}127\,B$	$R_{15} = 0{,}064\,B = 1/15\ R_1$
480	$0{,}866\,R_{16}$	$8{,}3776\,R_{16}$	$0{,}103\,B$	$R_{16} = 0{,}060\,B = 1/16\ R_1$

Diese Tabelle bietet, wie die Hygrometercurve, in wissenschaftlicher Hinsicht mehrfaches Interesse und kann dazu dienen, die Hygrometercurve in einer bedeutenden Ausdehnung, sowie eine Anzahl von Fadencurven richtig aufzuzeichnen.

Die Hygrometerscala.

Es liegt nahe, mittels der Scala zugleich den Weg zu bezeichnen, welchen das freie Fadenende durchläuft. Man kann also die Scala aus denjenigen Punkten bestehen lassen, an welchen das freie Fadenende, beziehungsweise dessen Projection, bei den relativen Feuchtigkeiten 100, 90, 80 Procent u. s. w. sich befindet.

Um eine solche Scala (Wegscala oder Punktscala) zu erhalten, wird man für die gewählte Fadenlänge die Hygrometercurve in genügender Ausdehnung provisorisch auf die Hygrometerplatte auftragen, dann die äussersten Punkte 100 und 0 und zuletzt die Zwischenpunkte definitiv bezeichnen, wobei das Nachfolgende in Betreff der gleichen oder ungleichen Theilung zu berücksichtigen ist.

Da man aber von langen Fäden, welche sich in der Trockenheit mehrfach zusammenwinden, in der Regel zweckmässig nur so grosse Stücke benützt, dass bei vollkommener Trockenheit die Projection der Fadencurve noch keinen geschlossenen Kreis bildet, so dass also das freie Fadenende nicht bei zwei verschiedenen Trockenheitsgraden in eine und dieselbe Sehnenrichtung fallen kann, so genügt eine Winkelscala, wobei die Winkelschenkel mit den Richtungen der Fahrstrahlen der Hygrometercurve für die entsprechenden Trockenheitsgrade zusammenfallen, und man braucht weder die Fadencurven noch die Hygrometercurve aufzutragen.

Die äussersten Punkte oder äussersten Winkelschenkel der Scala, nämlich 0 für vollkommene Trockenkeit und 100 für die Maximalfeuchtigkeit, muss man wohl bei jedem Faden experimentell feststellen durch vollständige Trocknung des Fadens und Sättigung desselben mit Feuchtigkeit. Es fragt sich dann, wie die Theilung zwischen 0 und 100 gemacht werden muss, ob eine gleichmässige Theilung theoretisch richtig oder doch praktisch zulässig ist, oder ob man eine ungleiche Theilung und in welcher Weise man eine solche auszuführen hat, um nicht nur ein Hygroskop, sondern ein Hygrometer zu erhalten, auf welchem man die Luftfeuchtigkeit in Procenten der bei der betreffenden Temperatur möglichen Maximalfeuchtigkeit unmittelbar ablesen kann, also ein Procent-Hygrometer. Man wird vorbehaltlich praktischer Prüfung der Resultate vorläufig folgende Annahmen machen dürfen:

1) Die Formänderung des Hygrometerfadens ist in den Grenzen der gewöhnlichen Temperaturveränderungen und noch darüber hinaus von der Temperatur nur in soweit abhängig, als diese auf die Feuchtigkeitscapacität der Luft Einfluss hat. Der Faden bildet z. B. bei einer relativen Feuchtigkeit von 50 Procent immer die gleiche Curve, mag die Temperatur — 20 oder + 40° sein.

2) Die von dem hygroskopischen Faden aufgenommene, beziehungsweise festgehaltene Wassermenge ist proportional der relativen Feuchtigkeit der Luft. Der Faden enthält z. B. bei 80 Procent relativer Feuchtigkeit doppelt so viel Wasser als bei 40 Procent und 8mal so viel als bei 10 Procent.

3) Die Veränderungen der Dimensionen der hygroskopischen Fadenschicht sind den Veränderungen des Wassergehaltes derselben proportional. Die Schicht schwindet z. B. in ihrer Länge und Dicke bei vollkommener Austrocknung 10mal so viel, als bei der Verminderung des Feuchtigkeitsgehaltes von 100 auf 90 Procent und doppelt so viel als bei 50 Procent Feuchtigkeitsverlust.

Ist nun mit Rücksicht auf die Gleichungen (2) und (3) bei einer relativen Feuchtigkeit von

100 Procent $L - l = 0$ und $d = D$
90 „ $L - l = \frac{m}{n} L$ und $d = D\frac{n-m}{n}$
80 „ $L - l = \frac{2m}{n} L$ und $d = D\frac{n-2m}{n}$
70 „ $L - l = \frac{3m}{n} L$ und $d = D\frac{n-3m}{n}$
60 „ $L - l = \frac{4m}{n} L$ und $d = D\frac{n-4m}{n}$
50 „ $L - l = \frac{5m}{n} L$ und $d = D\frac{n-5m}{n}$
40 „ $L - l = \frac{6m}{n} L$ und $d = D\frac{n-6m}{n}$
30 „ $L - l = \frac{7m}{n} L$ und $d = D\frac{n-7m}{n}$
20 „ $L - l = \frac{8m}{n} L$ und $d = D\frac{n-8m}{n}$
10 „ $L - l = \frac{9m}{n} L$ und $d = D\frac{n-9m}{n}$
0 „ $L - l = \frac{10m}{n} L$ und $d = D\frac{n-10m}{n}$

und substituirt man diese Werthe der Reihe nach in die allgemeine Gleichung (1) nämlich in $R = \frac{L\,d}{L - l}$, so erhält man als Radien für die Fadencurven

$$\text{bei 100 Procent } R_{100} = \frac{L\,D}{0} = \infty$$

$$\text{„ 90 „ } R_{90} = \frac{L\,D\frac{n-m}{n}}{\frac{m}{n} L} = D\frac{n-m}{m}$$

und so fort die im Folgenden zusammengestellten Radienwerthe:

bei 100 Procent $R_{100} = \infty$
„ 90 „ $R_{90} = D\frac{n-m}{m}$
„ 80 „ $R_{80} = D\frac{n-2m}{2m}$
„ 70 „ $R_{70} = D\frac{n-3m}{3m}$
„ 60 „ $R_{60} = D\frac{n-4m}{4m}$
„ 50 „ $R_{50} = D\frac{n-5m}{5m}$

bei 40 Procent $R_{40} = D\frac{n-6m}{6m}$

„ 30 „ $R_{30} = D\frac{n-7m}{7m}$

„ 20 „ $R_{20} = D\frac{n-8m}{8m}$

„ 10 „ $R_{10} = D\frac{n-9m}{9m}$

„ 0 „ $R_{0} = D\frac{n-10m}{10m}$

Es nehmen also wegen der veränderlichen Fadendicke die Radien nicht genau in der Weise ab, wie es in obiger Tabelle für gleiche Winkelzunahmen der Fall war, nämlich nicht einfach nach den Gliedern der Reihe

$$1, \; 1/2, \; 1/3, \; 1/4, \; \ldots .$$

es geschieht aber mit um so grösserer Annäherung, je kleiner m gegen n ist.

Wenn man also Fäden findet oder herzustellen im Stande ist, bei welchen m und auch noch $10m$ gegen n vernachlässigt werden kann, so darf die Eintheilung der Winkelscala eine gleichmässige sein.

Beispiel. In vollkommen feuchter Luft sei der Faden gerade und die Dicke der hygroskopischen Schicht $D = 0{,}1$ Millimeter.

Das Schwinden betrage bei vollkommener Austrocknung $\frac{1}{100} = \frac{10}{1000}$ einer jeden Dimension der hygroskopischen Fadenschicht. Dann ist in die allgemeine Gleichung

$$R = \frac{D\,(n-m)}{m}$$

einzusetzen:

$$n = 100 \text{ und } m = 0 \text{ bis } 1$$

oder

$$n = 1000 \text{ und } m = 0 \text{ bis } 10$$

und es ergeben sich die Radien:

bei 100 Procent $R_{100} = \frac{0{,}1\,(1000-0)}{0} = \infty$

bei 90 „ $R_{90} = \frac{0{,}1\,(1000-1)}{1} = 99{,}900$

bei 80 „ $R_{80} = \frac{0{,}1\,(1000-2)}{2} = 49{,}900$

bei 70 „ $R_{70} = \frac{0{,}1\,(1000-3)}{3} = 33{,}233$

und so weiter, wie nachstehende Zusammenstellung zeigt:

bei	100	90	80	70	60	50	40%	
($R =$)	∞	99,900	49,900	33,233	24,900	19,900	16,567	Millimeter

bei 30 20 10 0%
($R =$) 14,185 12,400 11,011 9,900 Millimeter.

Die Winkel der Eintheilung, immer vom ersten Schenkel an gerechnet, verhalten sich, (wie auch die Zahlen obiger Tabelle zeigen) wie die reciproken Werthe der Radien, also wie

$$(\varphi =) \frac{1}{\infty} : \frac{1}{99900} : \frac{1}{49900} : \frac{1}{33233} : \frac{1}{24900} : \frac{1}{19900} : \frac{1}{16567} :$$

$$(\varphi =) : \frac{1}{14185} : \frac{1}{12400} : \frac{1}{11011} : \frac{1}{9900}$$

oder fast genau wie

($\varphi =$) 0 : 1001 : 2004 : 3009 : 4016 : 5025 : 6036 : 7049 : 8064 : : 9081 : 10101

Die Partialwinkel wachsen also nach den Differenzen:

1001 1003 1005 1007 1009 1011 1013 1015 1017 1020

Die Partialwinkel sind demnach nicht gleich, sondern werden von 100 Procent gegen 0 hin immer etwas grösser, so dass der kleinste Winkel zwischen 100 und 90 Procent sich zu dem grössten zwischen 10 und 0 Procent verhält wie 1001 : 1020.

Bei der Theilung der ganzen Winkelsumme von 10101 Theilen in 10 gleiche Theile wären die Verhältnisszahlen für die Zunahme des Winkels φ nach obiger Reihenfolge

($\varphi =$) 0 : 1010,1 : 2020,2 : 3030,3 : 4040,4 : 5050,5 : 6060,6 : : 7070,7 : 8080,8 : 9090,9 : 10101

Die Differenz zweier auf einander folgenden Glieder ist hier immer 1010,1.

Der grösste Fehler würde bei 50 Procent vorkommen und 25,5 von den 10101 gedachten Theilen der ganzen Scala betragen, oder 0,25 auf 100, oder 1/4 Procent.

Da Ungenauigkeiten von 1/4 Procent unvermeidlich und bei der praktischen Anwendung des Hygrometers bedeutungslos sind, so dürfte unter obigen Voraussetzungen die Winkeltheilung eine gleichmässige sein.

Zu jenen Voraussetzungen gehört auch namentlich die, dass der hygroskopische Faden gleichmässig nach allen Dimensionen schwinde. Es ist aber möglich und sogar wahrscheinlich, dass bei manchen Hygrometerfäden der Schwindcoëfficient für die Dicke grösser ist als für die Länge, so dass die Winkelgrössen von 100 gegen 0 hin bedeutender zunehmen müssten, als es sich im vorstehenden Beispiele bei Veraussetzung gleicher Schwindcoëfficienten gezeigt hat.

Ebenso ist aber auch der umgekehrte Fall möglich.

Ferner ist der Widerstand der nicht hygroskopischen Rückenschicht noch nicht berücksichtigt, welcher, wenn die Rückenschicht aus mehreren Fasern, nicht aus einem äusserst dünnen Häutchen besteht, nach den Gesetzen der Biegung balkenförmiger Körper zu beurtheilen sein wird. Danach wird man im Allgemeinen anzunehmen haben, dass bei zunehmender Biegung der Widerstand der Rückenschicht wächst, und dass er der fortschreitenden Biegung selbst proportional ist, so dass die Winkel, welche das freie Fadenende durchläuft, von 100 gegen 0 für gleichmässige Abnahme der Feuchtigkeit proportional kleiner werden. Ein bestimmtes Verhältniss dieser Winkelabnahme lässt sich nicht angeben, weil die Dicke der Rückenschicht bei verschiedenen Fäden sehr ungleich sein, aber nicht genau genug gemessen werden kann. Bei manchen Fäden wird sich der Widerstand der Rückenschicht gegen den Einfluss eines grösseren Schwindcoëfficienten für die Dicke ausgleichen, bei anderen nicht. Es müssen, wie vielfache vergleichende Beobachtungen gezeigt haben, die Theilungswinkel für je 10 Procent bei manchen Procent-Hygrometern auf der ganzen Scala gleich sein, bei andern von 100 gegen 0 hin abnehmen, bei wieder anderen in dieser Richtung zunehmen; das richtige Theilungsverhältniss muss eben für jedes einzelne Procent-Hygrometer durch viele sorgfältige Beobachtungen ermittelt werden.

Die obigen theoretischen Schlüsse sind auch dann noch zulässig, wenn beide Schichten, aber in verschiedenem Grade hygroskopisch sind. Wenn für gleiche Abnahme der Feuchtigkeit die innere Schicht allmählich schwindet um

$$\frac{1}{n}, \frac{2}{n}, \frac{3}{n} \dots,$$

die äussere um

$$\frac{1}{p}, \frac{2}{p}, \frac{3}{p} \dots,$$

so sind die Dimensionsdifferenzen, auf die es hier wesentlich ankommt, der Reihe nach:

$$\frac{p-n}{np}, \frac{2(p-n)}{np}, \frac{3(p-n)}{pn} \dots$$

und diese wachsen in demselben Verhältniss wie oben angenommen.

Ebenso macht es keinen wesentlichen Unterschied, ob der Faden in vollkommen feuchtem Zustande ganz gerade, oder etwas nach der einen oder anderen Richtung gekrümmt ist.

Material des Hygrometerfadens.

Vielfache Versuche, hygroskopische Fäden, bei welchen die wesentlichen der in vorstehender Theorie vorausgesetzten Eigenschaften vor-

handen sind, künstlich durch Zusammenkleben verschiedener hygroskopischen und nicht hygroskopischen Streifen herzustellen, haben — namentlich in Bezug auf Dauerhaftigkeit — kein befriedigendes Resultat geliefert; immerhin dürfte es möglich sein, auf diesem Wege das Ziel zu erreichen. Wegen grösserer Unveränderlichkeit der gegenseitigen Lage beider Schichten werden solche Fäden vorzuziehen sein, bei welchen beide Schichten natürlich mit einander verwachsen sind. Es liegt nahe, hiebei an Pflanzenfäden zu denken, und man kennt ja auch längst verschiedene Pflanzenfasern, welche durch ihre Formänderung die Zunahme und Abnahme der Luftfeuchtigkeit anzeigen. Man hat die damit hergestellten Instrumentchen nicht Hygrometer, sondern Hygroskope genannt, weil sie entweder keine genügende, oder keine auf die Dauer constante Empfindlichkeit haben, oder auch, weil es nicht möglich schien, eine durch wissenschaftliche Grundlage gerechtfertigte Hygrometerscala dafür zn finden.

Der Hygrometerfaden, den ich nach vielen Versuchen für den geeignetsten halte, ist ebenfalls ein Pflanzenfaden, nämlich zartes, sorgfältig geschnittenes Stroh. Doch entsprechen bei weitem nicht alle Strohfäden dem Zwecke. Werden aus vielen solchen Strohfäden die wenigen brauchbaren ausgesucht und sorgfältig ausprobirt, so ist es möglich, damit Instrumente herzustellen, welche die Bezeichnung Hygrometer verdienen, und zwar Procent-Hygrometer, wenn die Scala so angefertigt ist, dass man die Feuchtigkeit der Luft in Procenten der Sättigungsmenge ablesen kann.

§. 62.

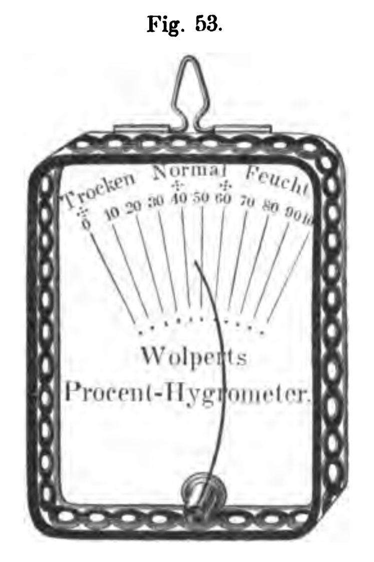
Vorzüge und Mängel des Strohhygrometers. Behandlung desselben.

Dieses Procenthygrometer als Strohhygrometer ist in Fig. 53 in der Hälfte der Dimensionen dargestellt, wie es seit mehreren Jahren Verbreitung gefunden hat. Man kann es noch kleiner, als die Figur ist, ausführen, wenn man sich mit einer sehr schmalen Scala begnügen will. Für meinen eigenen Gebrauch habe ich solche in sehr verschiedenen Grössen angefertigt, von den Dimensionen eines grossen Buches bis zu denen einer kleinen Taschenuhr.

Eine grosse Anzahl habe ich nun länger als 12 Jahre geprüft, unter sich und mit anderen Hygrometern, Psychrometern und Hygroskopen verglichen und kann in Folge dessen als Vorzüge dieses Strohhygrometers bezeichnen:

Es ist verhältnissmässig einfach, klein und billig, leicht transportirbar, von grosser und bei entsprechender Behandlung von dauernder Empfindlichkeit bei den gewöhnlichen Feuchtigkeits- und Trockenheitszuständen und bei allen Temperaturen von der grössten Kälte bis zur Siedhitze des Wassers; es verlangt für den Gebrauch keine wissenschaftlichen Kenntnisse, keine Berechnung, folglich keine Mühe und fast gar keinen Zeitaufwand, lässt die relative Feuchtigkeit unmittelbar durch einen Blick erkennen und kann desshalb von Jedermann eben so leicht benützt werden, wie ein gewöhnliches Thermometer.

Fig. 53.



Die Mängel, welche sich im Laufe der Zeit herausgestellt haben, sind folgende:

1. Die Empfindlichkeit ist nicht bei allen Strohhygrometern gleich; sie ist sogar bei den aus demselben Halm neben einander ausgeschnittenen Fäden häufig sehr verschieden. In Folge dessen zeigen mehrere neben einander unter gleichen Umständen aufgehängte Strohhygrometer, die bei dauernd gleichmässigem Feuchtigkeitszustande übereinstimmen, bei rasch eintretender Veränderung desselben nicht übereinstimmend, also auch nicht alle sogleich richtig. Manche stellen sich in einigen Minuten richtig ein, andere erst in der zehnfachen oder noch längerer Zeit.

Für den Gebrauch in Wohnräumen jedoch, wo die Feuchtigkeitszustände nicht sehr rasch wechseln und es auf einige Procente der relativen Feuchtigkeit nicht ankommt, hat dieser Mangel wenig Bedeutung.

2. Die Empfindlichkeit ist gewöhnlich in der Nähe des Sättigungspunktes gering. Ich glaube dieses daraus erklären zu dürfen, dass der in der Regel zwischen 50 und 70 Procent sich bewegende und dabei in einer ziemlich starken Krümmung verharrende Faden eine gewisse Steifigkeit der Krümmung annimmt, welche bei rasch zunehmender Feuchtigkeit der Ausdehnungskraft der hygroskopischen Faserschicht einen verhältnissmässig grossen Widerstand entgegensetzt, der nicht eben so rasch überwunden wird. Dieses ist jedoch ebenfalls für den Gebrauch in Zimmern nicht von Bedeutung, weil da die relative Feuchtigkeit überhaupt nicht über 80 Procent kommen soll und bei einiger

Ventilation nicht darüber kommen kann, wenn nicht die künstliche Luftbefeuchtung in übertriebener Weise bewerkstelligt wird.

Befindet sich das Hygrometer längere Zeit in sehr feuchter Luft, und ist der Faden in Folge dessen in die Nähe des Sättigungspunktes gelangt, so ist er auch zwischen 80 und 100 % sehr empfindlich.

3. Die Empfindlichkeit nimmt mit der Zeit ab; sie wird ohne Zweifel dadurch vermindert, dass sich Staub an dem Hygrometerfaden ansetzt und zum Theil die feinen Poren der hygroskopischen Schicht ausfüllt, die Zusammenziehung derselben in gewissem Grade hindert.

Doch scheint dieser Umstand von untergeordnetem Einflusse zu sein, wie aus dem Folgenden sich ergeben wird. Auch bei möglichster Abhaltung des Staubes krümmt sich der Faden nach einiger Zeit weniger, als im neuen Zustande unter gleichen Trockenheitsverhältnissen.

Die Erklärung dieses Umstandes wird in derselben Weise gegeben werden können, wie für das Haarhygrometer, bei welchem ich sehr oft die analoge Erscheinung wahrgenommen habe.

Befand sich dieses lange in trockener Zimmerluft, so zeigt es, nachdem man die Luft im Gehäuse mit Feuchtigkeit gesättigt, also das Haar selbst in feuchten Zustand versetzt hat, ohne jedoch am Mechanismus etwas zu ändern, in der nächsten Zeit mehrere Procent trockener als vorher, und zwar in derselben Luft, welche nach Massgabe anderer Hygrometer nicht trockener geworden ist.

Solche Regeneration, Wiederherstellung der grösseren Spannkraft durch Befeuchtung, scheint bei allen organischen hygroskopischen Körpern stattzufinden.

In dieser Wiederherstellung der grösseren Spannkraft der hygroskopischen Fadenschicht ist ohne Zweifel auch die Ursache zu finden, warum ein sehr trocken gewordenes Strohhygrometer alsbald noch trockener zeigt, wenn man stark in das Gehäuse gehaucht hat und noch viel trockener auf längere Zeit hinaus, wenn man den Faden nass gemacht hat.

Ist nun der Nullpunkt der Scala nach längerer Austrocknung bestimmt worden, so zeigt später der Faden kurz nach erneuter Befeuchtung zu trocken; ist dagegen der Nullpunkt alsbald nach der Befeuchtung bestimmt worden, so zeigt das Hygrometer später nach längerer Trockenheit zu feucht.

Ich habe früher in der Voraussetzung, dass man häufig in das Gehäuse hauchen werde, um sich von der Empfindlichkeit des Fadens zu überzeugen, den Nullpunkt gleich nach dem Sättigungspunkte bestimmt, also im regenerirten Zustande des Fadens; in den letzten Jahren

aber erst nach längerer Austrocknung, weil die Spiegelung der Metallplatte für die richtige Ablesung von Wichtigkeit ist und durch das häufige Einhauchen die Platte zu stark anläuft. Ich habe jedoch alsdann auch nicht versäumt, darauf aufmerksam zu machen, dass in Folge des Einhauchens die Angaben auf einige Zeit zu gering werden.

In Folge der vorerwähnten ungleichmässigen Anfertigung, Austrocknung und Behandlung ist es vorgekommen, dass mehrere Hygrometer nicht gut übereinstimmten, also zum Theil unrichtig zeigten.

Ich gehe desshalb auf die ursprüngliche Anfertigungsweise zurück, gebe aber folgende Gebrauchs-Anweisung:

Der Hygrometerfaden muss von Zeit zu Zeit regenerirt werden und zwar um so häufiger, je trockener die Luft ist, in welcher das Hygrometer benützt wird. Um eine bestimmte Ordnung hiefür einzuhalten, empfehle ich, die Regenerirung an jedem Sonntage vorzunehmen, ausserdem immer einige Stunden vor einer wichtigen Beobachtung.

Das Regeneriren wird in folgender Weise ausgeführt:

Man nimmt die Hygrometerplatte aus dem Gehäuse heraus und bestreicht mit einem in reines Wasser getauchten etwas dicken Haarpinsel (Aquarell-Pinsel) den Hygrometerfaden vom Zapfen aus gegen die Fadenspitze einigemal. Den sich dabei am Zapfen ansetzenden Wassertropfen nimmt man mittels des vorher ausgedrückten Pinsels weg.

Will man den Faden rasch mit Feuchtigkeit sättigen, so füllt man ein Gefäss von 9 bis 10 Centimeter Weite — ein weites Glas, eine grosse Tasse und dergl. — mit reinem Wasser bis nahe an den Rand, legt die Hygrometerplatte umgekehrt so darüber, dass der Faden sich im Wasser befindet, und lässt ihn etwa 10 Minuten oder beliebig länger darin.

Der Faden wird sich auf 100 einstellen, wenn das Hygrometer richtig angefertigt und unverändert geblieben ist.

Diese Manipulation, namentlich das Herausnehmen der Platte aus dem Gehäuse, erfordert etwas Vorsicht, damit man den Faden nicht abknickt.

Auf diese Weise regenerirt zeigen die ältesten, scheinbar sehr unempfindlich gewordenen Hygrometer wieder richtig.

Es muss aber beigefügt werden, dass diejenigen Hygrometer, bei welchen die Scala für den ausgetrockneten Faden bestimmt worden ist, in Folge der Annässung zu trocken zeigen würden. Um wie viel der Faden bei diesen abgeschnitten werden muss, damit er in regenerirtem Zustande richtig zeigt, lässt sich durch Vergleichung mit einem anderen richtigen oder Normal-Hygrometer einige Stunden nach der Annässung erkennen.

Durch die hier vorgeschriebene Behandlung verliert zwar dieses Hygrometer an dem Vorzuge der Handlichkeit; doch sind nur auf diese Weise zu jeder Zeit und unter allen Umständen mit alten wie mit neuen Hygrometern zuverlässige Beobachtungsresultate zu gewinnen.

In dem „Bericht über die Heizungs- und Ventilationsanlagen in den städtischen Schulgebäuden in Bezug auf ihre sanitären Einflüsse, erstattet im Auftrag des Magistrats in Berlin“ (1879 S. 48), sagt Professor Dr. Alexander Müller, auf Grund von vielen Beobachtungen mit einer grossen Anzahl solcher Hygrometer:

> „Die Wolpert'schen Hygrometer habe ich schätzen gelernt wegen ihrer Empfindlichkeit und Constanz innerhalb unserer Beobachtungsgrenzen; nur schade, dass ihre Correction schwierig ist.“

Die letzte Bemerkung erklärt sich daraus, dass ich früher über die Correction durch Regenerirung Nichts mitgetheilt hatte; in dieser Weise ist die Correction offenbar schnell und leicht ausführbar.

Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass bei raschem Wechsel der relativen Feuchtigkeit, namentlich der Temperatur, wenn man etwa die relative Feuchtigkeit verschieden warmer Räume rasch hinter einander vergleichen will, das Gehäuse, obgleich es vielfach durchbrochen ist, die richtige Einstellung des Hygrometerfadens sehr verzögert, dass man desshalb in solchen Fällen besser das Hygrometer ohne Gehäuse benützt.

Sogar die Temperatur der Scalaplatte veranlasst auf einige Augenblicke eine verkehrte Bewegung des Fadens, wenn man das Instrument in bedeutend wärmere oder kältere Luft bringt.

Man darf aber daraus nicht folgern, dass die Hygrometer-Ablesungen nach der Temperatur corrigirt werden müssten. Die Temperatur ist nur insoweit von Einfluss, als von ihr die relative Feuchtigkeit abhängt. Der Hygrometerfaden biegt sich in kalter trockener Luft ebenso wie in heisser, und er streckt sich in heissem Wasser eben so wie in kaltem. Bei jeder Temperatur zeigt dieses Strohhygrometer die relative Feuchtigkeit des Raumes in Procenten der bei dieser Temperatur möglichen Maximalfeuchtigkeit oder Sättigung an.

§. 63.

Allgemeine Bemerkungen über Luftverdünnung.

Wenn von zwei gleichartigen Massen, die gleiches absolutes Gewicht haben, die eine einen grösseren Raum einnimmt, als die andere, so muss

die Masse von geringerem Volumen offenbar grössere Dichte und grösseres specifisches Gewicht haben.

Wird nun eine Luftmasse von bestimmtem Volumen durch irgend eine äussere Einwirkung veranlasst, ihr Volumen bei ungeändertem Gewichte zu vergrössern, sich auszudehnen, so wird sie im Verhältnisse dieser Ausdehnung weniger dicht, sie wird verdünnt.

Ausdehnung und Verdünnung sind sonach nicht gleichbedeutende Begriffe; weil jedoch die eine der beiden Erscheinungen mit der anderen nothwendiger Weise verknüpft ist, so gebraucht man beide Begriffe gewöhnlich gleichbedeutend.

In physikalischen Werken findet man eine absolute oder wirkliche von der scheinbaren Ausdehnung und Verdünnung der Luft unterschieden; die wirkliche Ausdehnung erfährt man aus der scheinbaren, indem man die Ausdehnung des Gefässes, worin die Ausdehnung der Luft bei der Erwärmung geschieht, in Rechnung zieht. Ein anderer Unterschied in der Bezeichnung der auf verschiedene Art erzeugten Ausdehnung und Verdünnung der Luft existirt meines Wissens in den Lehrbüchern der Physik noch nicht, obwohl einige Autoritäten im Gebiete der Ventilation und Hygiene die von mir im Jahre 1859 gewählten und seitdem in verschiedenen Publicationen beibehaltenen unterscheidenden Bezeichnungen als sachgemäss anerkannt und ebenso benützt haben.

Aber man findet noch in neuesten Schriften über Feuerungs- und Lüftungsanlagen Ungereimtheiten, die aus mangelhaften Begriffsbestimmungen, namentlich in Betreff der Luftverdünnung entsprossen sind.

Dass durch Erwärmung der Luft deren Ausdehnung und Verdünnung bewirkt werde, durch Abkühlung dagegen deren Verdichtung, das ist bekannt und wahr; ebenso wahr und bekannt ist aber auch, dass durch Verdünnung der Luft deren Abkühlung, durch Verdichtung deren Erwärmung bewirkt wird. Was für paradoxe Syllogismen lassen sich aus diesen bekannten Wahrheiten bilden, wenn man sich an den mangelhaften Wortlaut hält! Durch Erwärmung der Luft entsteht Luftverdünnung, durch Luftverdünnung entsteht Abkühlung der Luft; demnach müsste durch Erwärmung der Luft die Abkühlung derselben entstehen. Ebenso lässt sich aus obigen Wahrheiten beweisen, dass durch Abkühlung die Erwärmung, durch Verdünnung die Verdichtung, durch Verdichtung die Verdünnung der Luft bewirkt werde, dass man, wenn man eine Luftmasse erwärme, sie zu gleicher Zeit verdünne, abkühle und verdichte!

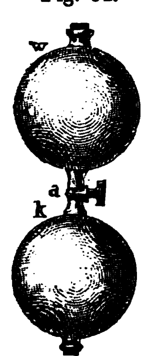
Um Widersprüche dieser und anderer Art zu lösen und damit zu-

gleich Ordnung und Klarheit in das Gebiet der Heizung und Ventilation zu bringen, ist eine klare Begriffsbestimmung unumgänglich und vor Allem nothwendig. Man muss entweder in besonderen Fällen den Begriff durch Zusätze entschiedener feststellen, je nach dem Bedürfnisse umschreiben; oder man führe eine kurze einfache Bezeichnung ein, über deren Bedeutung man sich nur ein- für allemal zu verständigen hat.

Zweckmässig wird es sein, bestimmte Bezeichnungen für die Luftverdünnung anzunehmen, je nachdem diese durch Wärmezuführung oder durch andere Ursachen veranlasst worden ist; die Wirkungen der beiden Arten der Luftverdünnung sind in vielen Beziehungen sehr verschieden, weil in beiden Fällen die gleiche Verminderung der Dichte, des specifischen Gewichts der Luft, die sogenannte gleiche Luftverdünnung erreicht sein kann, dabei aber die Spannkraft dieser Luft geringer als vorher in dem einen Fall, im anderen ebensogross als vorher oder noch grösser ist.

Bringt man in einen aus zwei abschliessbaren verbundenen Gefässen (etwa wie in Fig. 54) bestehenden Apparat unten kalte Luft, oben erhitzte, so steigt die kalte Luft nicht in die wärmere hinauf, wenngleich das Ventil *a* geöffnet ist; ja es gelangt sogar die warme Luft zum Theil unter das Ventil *a* hinab, wenn die Luft erst im Behälter *w* selbst erwärmt wird. Ist denn aber die erhitzte Luft nicht dünner als die kalte? Wer hätte nicht schon gehört oder gelesen, dass die dichtere Luft ein Bestreben habe, dahin zu dringen, wo die Luft dünner ist? dass keine dichtere Luft in unmittelbarer Berührung mit der verdünnten in Ruhe bleiben kann? Das theilweise Eindringen der Luft aus dem unteren Gefässe in das obere erfolgt jedoch während der Abkühlung der Luft in dem oberen Behälter. Schliesst man nach der Erwärmung des oberen Behälters das Ventil *a* und öffnet es nach der Abkühlung erst wieder, so darf man den Apparat stellen wie man will, eine bestimmte Menge Luft fliesst jedesmal nach dem Behälter *w* aus dem Behälter *k* über, ohne dass hiebei eine noch so geringe Luftmenge aus dem Apparate entfernt worden oder eine neue hinzugekommen wäre. Man wird hieraus erkennen, dass ein Unterschied zwischen der anfänglichen durch Erwärmung veranlassten und der zuletzt entstandenen Luftverdünnung im Behälter *w* angenommen werden muss.

Fig. 54.



Wurde die Luft schon erwärmt in das Gefäss gebracht,

aber nicht hineingepresst, oder wurde die Luft in demselben selbst erwärmt, während die oberste Mündung nicht geschlossen war, so musste die Spannkraft dieser Luft gleich dem Atmosphärendrucke sein und ebensogross bleiben, so lange die Temperatur unverändert blieb; dieselbe Spannkraft hatte aber auch die kältere Luft im Behälter *k*. Da überdies die warme Luft als specifisch leichtere Flüssigkeit über der kälteren, schwereren Flüssigkeit sich befand, so war keine Ursache vorhanden, wesshalb beide Luftmassen nicht in Ruhe, gegenseitig nicht im Gleichgewichte sein sollten. (Die oberste und unterste Mündung des Apparates werden nach der Füllung oder nach beendeter Erwärmung als geschlossen betrachtet.) Wurde aber die Luft im vollständig geschlossenen Behälter *w* selbst erwärmt, so wurde durch die hinzukommende Wärmemenge die Spannkraft dieser Luft vergrössert; sie musste, sobald das Ventil *a* geöffnet wurde, die geringere Spannkraft der kälteren Luft überwinden und soweit in den Raum jener eindringen, bis die durch Volumenvergrösserung abnehmende Spannkraft der warmen Luft der durch Volumenverminderung zunehmenden Spannkraft der kalten Luft gleich war, so dass sich beide Spannkräfte gegenseitig aufhoben.

War nun zwischen der warmen und kalten Luft Gleichgewicht vorhanden, so musste dieses durch die bei der Abkühlung der warmen Luft entstehende andere Art der Luftverdünnung wieder gestört werden, indem damit Verminderung der Spannkraft im Behälter *w* eintrat. Die Spannkraft der in ihrer Temperatur wenig oder gar nicht veränderten Luft im Behälter *k* musste die Uebermacht gewinnen, die Luft musste nun theilweise vom Behälter *k* nach dem Behälter *w* empordringen.

Die anfängliche Luftverdünnung geschah also durch Wärmeaufnahme und durch Vergrösserung der Spannkraft, die letzte Luftverdünnung dagegen durch Wärmeverlust und mit Verminderung der Spannkraft.

Da es ohne Zweifel zweckmässig ist, für die beiden Arten der Luftverdünnung irgend welche, bestimmte, kurze Bezeichnungen anzunehmen, und da eine solche Annahme die in diesem Buche nothwendig noch folgenden Untersuchungen in gewisse Ordnung bringen, deren Auffassung erleichtern wird, so habe ich mir (neben den Ausdrücken wirkliche und scheinbare Luftverdünnung, welche bei den Theorien der Heizung und Ventilation nicht zur Berücksichtigung kommen) die Ausdrücke absolut und relativ gewählt, ohne jedoch mit diesen Bezeichnungen massgebend sein zu wollen. Lieber hätte ich die Ausdrücke relativ und specifisch

gewählt, weil eine Luftverdünnung immer eine beziehungsweise geltende, eine verhältnissmässige ist; allein ich fürchte eine zu leichte Verwechselung dieser Ausdrücke, während einer solchen auf Grundlage des Nachfolgenden ziemlich vorgebeugt sein dürfte..

Ich bezeichne die Art der Luftverdünnung, welche durch das Eindringen der Wärme in eine Luftmasse entsteht, wobei also keine Verminderung der Spannkraft erfolgt, als relative Luftverdünnung, jede auf andere Weise veranlasste Verdünnung der Luft dagegen, sobald dabei die Spannkraft der Luft vermindert wird, als absolute Luftverdünnung.

Warum ich die einmal gewählten Bezeichnungen gerade in dieser und nicht in umgekehrter Ordnung annehme, das begründe ich, wie folgt:

Ebenso wie die ruhige atmosphärische Luft in dem Zustande, wie sie als der Körper von der normalen Dichte, der Einheit des specifischen Gewichts für die luftförmigen Körper gilt, also bei einer Temperatur von 0° und unter dem Atmosphärendrucke (760 Millimeter) an und für sich dicht, absolut dicht genannt werden kann, dem Wasser gegenüber jedoch viel weniger dicht, relativ dünn ist, weil sie bei gleichem Volumen weniger Masse, weniger Gewicht besitzt, als das Wasser: so ist unter dem constanten Atmosphärendrucke bei veränderlichem Volumen die Luft von jeder beliebigen Temperatur, beziehungsweise als warme oder kalte Luft in ihrer Art jedesmal vollkommen dicht, absolut dicht zu nennen. Gegenüber der kälteren Luft unter demselben äusseren Drucke, bei derselben Spannkraft ist die wärmere aber weniger dicht, relativ verdünnt, weil sie bei dem gleichen Volumen, welches auch die kältere Luft hat, weniger Massentheilchen, weniger Gewicht besitzt, als die kältere Luft. Enthält aber eine Luftmasse weniger Massentheilchen, weniger Gewicht, als sie bei gleichem Volumen und gleicher Temperatur bei einer dem Atmosphärendruck gleichen Spannkraft haben müsste, dann mag sie absolut verdünnt genannt werden.

§. 64.

Relative Luftverdünnung.

Die relative Luftverdünnung, Luftverdünnung ohne Verminderung der Spannkraft, ist eine Wirkung der Ausdehnung durch die Wärme; nicht immer muss aber durch das Ein-

dringen der Wärme in eine Luftmasse diese relativ verdünnt werden; dazu ist erforderlich, dass es der Luft gestattet ist, ein grösseres Volumen einzunehmen. Wenn sich die Luft während der Wärmeaufnahme nicht ausdehnen kann, so bleibt in demselben Raume dieselbe Anzahl der Massentheilchen, dasselbe Gewicht vorhanden; der Ausdruck Luftverdünnung, man mag denselben nehmen, wie man wolle, verlangt immer eine Verminderuug des Gewichts für dasselbe Volumen, eine Verminderung des specifischen Gewichts.

Von welcher Art und Beschaffenheit die Wärmequelle ist, welche der Luft die zu ihrer relativen Verdünnung nöthige Wärmemenge liefert, ist natürlich nicht principiell von Einfluss, sondern nur in Bezug auf den zu erzielenden Verdünnungsgrad und die dazu erforderliche Zeit. Die Wärme aus glühenden, flammenden Körpern, thierische Wärme, Sonnenwärme, die durch Condensation von Dämpfen, durch chemische und mechanische Verdichtung, Reibung u. s. f. gelieferte Wärme kann der Luft zum Zwecke der relativen Verdünnung mitgetheilt werden.

Bezeichnet man bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen den Raum einer Luftmasse bei 0° mit v_0, bei einer Temperatur t^0 C. mit v, bei T^0 C. mit V, so hat man für den Raum bei t^0 die Gleichung:

$$v = v_0 \ (1 + at);$$

für den Raum bei T^0 ebenso

$$V = v_0 \ (1 + aT)$$

Die beiden Gleichungen liefern die Proportion

$$v : V = (1 + at) : (1 + aT)$$

Dieses Verhältniss der Räume selbst, der Raum**grössen**, ist jedoch **nicht** das Verhältniss der Raum**vergrösserung**, der Ausdehnung in diesem Sinne, der **Luftverdünnung**, in dieser Beziehung kommt es nur auf das Verhältniss der **Raumzunahme** an. Die Zunahme des Raumes v_0 bei den Temperaturen t^0 und T^0 ist beziehungsweise $v_0 \ at$ und $v_0 \ aT$; diese Zunahmen verhalten sich wie $t : T$. Man kann demnach wohl nicht sagen, dass die ganzen Räume einer Luftmasse bei verschiedenen Temperaturen diesen Temperaturen oder den zugeführten Wärmemengen proportional seien, aber die Zunahme der Räume, somit **die relative Verdünnung ist den Temperaturen und auch den zugeführten Wärmemengen proportional**, wenn bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen für jeden Grad der Temperaturerhöhung eine gleich grosse Wärmemenge erfordert wird, was man zwischen den gewöhnlichen Temperaturgrenzen als nahezu richtig annehmen kann.

§. 65.

Die Erhöhung der Spannkraft als Aequivalent der relativen Luftverdünnung.

Ist die Luft während ihrer Erwärmung in einem Raume in solcher Weise abgesperrt, dass sie sich nicht ausdehnen kann, so findet eine Erhöhung der Spannkraft in demselben Verhältnisse Statt, wie bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen der Raum der Luft durch Wärmeaufnahme vergrössert, die Luft relativ verdünnt worden wäre.

Hat eine Luftmasse, deren Volumen bei 0° als Einheit gesetzt werden mag, so viel Wärme aufgenommen, dass bei gestatteter Ausdehnung unter constantem Drucke ihre Temperatur auf t^0 C., ihr Volumen bei dieser Temperatur auf $v = 1 + a\,t$ gestiegen ist, so ist die Spannkraft noch der vorigen gleich. Bezeichnet man diese Spannkraft mit s und nimmt man an, die warme Luft von dem Volumen v werde nun auf das Volumen 1 zusammengepresst, so verhält sich, nachdem die durch die Pressungsarbeit erzeugte Wärme an die Umgebung übergegangen und gerade die Temperatur t vorhanden ist, die nunmehrige Spannkraft s_1 zu der Spannkraft s umgekehrt wie sich die zugehörigen Volumina verhalten:

$$s_1 : s = v : 1$$
$$s_1 : s = (1 + a\,t) : 1$$
$$s_1 = s\,(1 + a\,t)$$

Dieselbe Spannkraft s_1 aber, welche die Luft bei der Temperatur t nach der Compression auf das Volumen 1 besitzt, muss sie auch unmittelbar erlangen, wenn sie bei dem ursprünglich angenommenen Volumen 1, welches nun constant sein soll, dieselbe Luftmenge bleibt und auf dieselbe Temperatur erwärmt wird, wie im ersten Falle.

In ähnlicher Weise wird für weitere Erwärmung, für welche bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen in derselben Luftmasse die Temperatur T^0 und die Ausdehnung auf den Raum $V = 1 + a\,T$ veranlasst worden wäre, nun die Spannkraft S bei nicht gestatteter Ausdehnung, also bei constantem Volumen

$$S = s\,(1 + a\,T)$$

Die Spannkräfte s_1 und S bei constantem Volumen stehen in dem Verhältnisse

$$s_1 : S = (1 + a\,t) : (1 + a\,T)$$

In demselben Verhältnisse stehen auch die Volumina bei gleichbleibender Spannkraft; man hat nämlich auch

$$v : V = (1 + a t) : (1 + a T)$$

Die beiden letzten Proportionen ergeben die neue:

$$s_1 : S = v : V$$

das heisst: bei einer und derselben Luftmasse verhalten sich für verschiedene Temperaturen die Spannkräfte bei constantem Volumen ebenso, wie die Räume bei veränderlichem Volumen und constanter Spannkraft.

Ist z. B. eine Luftmasse so viel erwärmt, dass sie bei gleichbleibender Spannkraft sich auf den doppelten, dreifachen, vierfachen Raum ausgedehnt haben würde, so wird ihre Spannkraft, wenn sie sich nicht ausdehnen kann, bei denselben Temperaturen wie vorhin auch die doppelte, dreifache, vierfache.

Die Zunahme der Spannkraft in den beiden obigen Fällen verhält sich wie $s \,.\, a t : s \,.\, a T$ oder wie $t : T$, also wie die Temperaturen; ebenso verhält sich bei gestatteter Ausdehnung die Zunahme des Raumes, die Luftverdünnung.

Die Temperatur, für welche bei gleichbleibender Spannung das Volumen einer Luftmasse das Doppelte wie bei 0° wird, findet man, wenn man den Zuwachs des Volumens 1 in dem Ausdrucke $1 + a t$, also $a t$ selbst gleich dem Volumen bei 0°, also $= 1$ setzt. Aus $1 = a t$ ist:

$$t = \frac{1}{a} = \frac{1}{0{,}003\,665} = 272{,}854 \text{ oder rund } 273^{0}\text{ C.}$$

Dieselbe Wärmemenge aber, welche eine Luftmasse unter dem Atmosphärendrucke auf die Temperatur 273° C. und zugleich auf das doppelte Volumen bringt, erhöht bei gehinderter Ausdehnung die Temperatur auf mehr als 273° und die Spannkraft auf mehr als 2 Atmosphären, weil im ersteren Falle ein Theil der zugeführten Wärme als Arbeit zur Ueberwindung des äusseren Druckes verwendet werden musste, also für die Temperaturerhöhung verloren ging.

Man kann auch sagen:

Weil die specifische Wärme bei constantem Volumen geringer ist, als bei constantem Drucke, so muss, wenngleich die zugeführte Wärmemenge dieselbe ist, die Temperatur bei gehinderter Ausdehnung höher sein, als 273° C., nämlich um so viel, als sich durch die geleistete Arbeit der Compression der Luftmasse vom doppelten Volumen auf das einfache die Temperatur erhöhen muss.

Von der Zunahme der Spannkraft in Folge des Eindringens von Wärme in eine Luftmasse bei constantem Volumen überzeugt man sich durch den sehr einfachen Versuch, dass man eine in einem kalten Raume verschlossene, also mit kalter Luft gefüllte Flasche über den warmen Ofen bringt. Der Pfropf wird alsbald mit heftigem Knall an die Decke geschleudert.

Diese Erscheinung erinnert an das beliebte Spielzeug der Knaben, die Knallbüchse, Knallröhre. Das Eindringen der Wärme in die Luft, welche gehindert ist, sich der Temperaturzunahme entsprechend auszudehnen, wirkt also ebenso, wie die Compression der Luft auf mechanischem Wege.

§. 66.

Störung des Gleichgewichts durch relative Luftverdünnung.

Wird irgend ein Theil einer Luftmasse erwärmt, so wird durch das Eindringen der Wärme zunächst die Spannkraft dieses Theiles grösser, als die der ihn umgebenden Luft; derselbe dehnt sich folglich in einen grösseren Raum aus, und zwar so weit, bis seine Spannkraft dieselbe ist, wie die der übrigen Luftmasse. Während dieser durch Wärmeaufnahme veranlassten Ausdehnung der dem Gewichte nach gleichbleibenden Luftmenge muss diese verdünnt, specifisch leichter werden, als die sie umgebende kälter bleibende Luft; da aber die Verdünnung eine relative ist, eine Verdünnung ohne Verminderung der Spannkraft, und auch die zunächst entstehende geringe Erhöhung der Spannkraft durch die Volumenvergrösserung sich sofort ausgleicht, so dass die Spannkraft in der ganzen Luftmasse (abgesehen von der überhaupt etwas grösseren Spannkraft in den unteren, durch die darüber befindlichen mehr belasteten Schichten) die gleiche ist, so wird es überflüssig, die Spannkraft weiter zu berücksichtigen.

Es kommen sonach für die relative Luftverdünnung nur die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung specifisch leichterer und schwererer Flüssigkeiten, die hydrostatischen Gesetze zur Beachtung.

Setzt man das Volumen einer Luftmasse bei $0^0 = v$, so ist das Volumen bei t^0 C. $= v\ (1 + a\,t) = v\ (1 + 0{,}003\,665\,t)$.

Es verhalten sich aber die specifischen Gewichte einer und derselben Luftmasse bei verschiedener Ausdehnung umgekehrt wie die

Volumina; sind allgemein die Volumina bei 0^0 und t^0 C. beziehungsweise v und v_1, die specifischen Gewichte s und s_1, so hat man die Proportion:

$$v : v_1 = s_1 : s$$

$$s_1 = \frac{v \cdot s}{v_1} = \frac{v \cdot s}{v\,(1 + a\,t)} = \frac{s}{1 + a\,t}$$

Setzt man $v = 1$ und $s = 1$, das heisst, nimmt man das Gewicht der Volumeneinheit Luft bei 0^0 als Einheit des specifischen Gewichts an, so ist allgemein bei einer Temperatur von t^0 C. das Gewicht für die Volumeneinheit oder das specifische Gewicht s_1, indem das gleichbleibende absolute Gewicht 1 der bei 0^0 als Volumeneinheit angenommenen Luftmasse sich nun im Raume v_1 oder $(1 + a\,t)$ vertheilt hat:

$$s_1 = \frac{1}{1 + a\,t} = \frac{1}{1 + 0{,}003\,665\,t}$$

Je grösser der Werth von t wird, je höher also die Temperatur der Luft unter sonst gleichen Umständen ist, desto geringer ist das specifische Gewicht der Luft. Man sieht jedoch, dass das specifische Gewicht den Temperaturen nicht im geometrischen Verhältnisse umgekehrt proportional ist; denn für die Temperatur T wäre das specifische Gewicht $S = \frac{1}{1 + a\,T}$; und man hat die Proportion:

$$s_1 : S = \frac{1}{1 + a\,t} : \frac{1}{1 + a\,T}$$

oder

$$s_1 : S = (1 + a\,T) : (1 + a\,t)$$

Das Verhältniss der Veränderung des specifischen Gewichts hingegen, während die Temperatur von t^0 auf T^0 steigt, ist $\frac{1}{a\,t} : \frac{1}{a\,T}$; oder $T : t$; das heisst, die Verminderung des specifischen Gewichts ist den Temperaturen proportional.

Wenn nun eine warme Luftmasse von einer kälteren umgeben ist, so muss die warme Luft, als die specifisch leichtere Flüssigkeit, vertical emporgehoben werden. Geschieht dieses in einem Raume, welcher nach oben und genügend von oben herab an den Seiten abgeschlossen ist, so muss sich die warme Luft in einer horizontalen Schicht unmittelbar unter der Decke sammeln.

Ist dagegen eine kältere Luftmasse von einer wärmeren umgeben, so sinkt die kältere Luft, als die specifisch schwerere Flüssigkeit, vertical herab und verbreitet sich in einer horizontalen Schicht dicht über dem Boden.

§. 67.

Geschwindigkeit des Ausflusses einer Luftmasse in relativ verdünnte Luft.

Ein oben offenes, theilweise mit kalter Luft angefülltes Gefäss sei von wärmerer Luft umgeben. Die kalte Luft wird im Ganzen ruhig den untersten Raum einnehmen. Hat das Gefäss am Boden eine Oeffnung, so fliesst die kalte Luft durch diese Oeffnung in die wärmere Luft herab. Die Geschwindigkeit des Ausflusses wird beständig abnehmen, während die Oberfläche der kalten Luft im Gefässe sinkt, weil damit zugleich die Differenz der an der Mündung zur Wirkung gelangenden Druckkräfte, folglich der überwiegende nach unten gerichtete Druck auf jedes ausfliessende Lufttheilchen geringer wird. Fliesst dagegen oben immer so viel kalte Luft hinzu, als unten ausfliesst, so dass beständig die kalte Luft in einer bestimmten Höhe H das Gefäss füllt, so muss auch die Ausflussgeschwindigkeit eine constante bleiben. Wie man bei der Druckhöhe H die Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit in ein specifisch leichteres Medium findet, ist bereits in §. 24 und §. 25 gezeigt. Man setzt in die allgemeine Formel der Geschwindigkeit des freien Falls statt der Fallhöhe diejenige Höhe ein, welche sich ergiebt, indem man von der gegebenen Druckhöhe H diejenige Höhe abzieht, welche erfordert wird, dem äusseren Gegendrucke, dem Drucke einer Säule der leichteren Flüssigkeit von der Höhe H das Gleichgewicht zu halten.

Ist demnach s das specifische Gewicht der kälteren Luft, s_1 das der äusseren wärmeren, H die Höhe der kälteren Luftsäule oder der kalten Luft im Gefässe, somit auch zugleich die Höhe einer wärmeren Luftsäule, welche mit jener nicht im Gleichgewicht ist, x der Höhentheil der kälteren Luftsäule, welcher der wärmeren Luft von der Höhe H das Gleichgewicht halten könnten, so hat man die Proportion:

$$x : H = s_1 : s$$

Denn es verhalten sich unter diesen Umständen die Höhen von Flüssigkeiten, welche sich gegenseitig im Gleichgewicht erhalten, umgekehrt wie die specifischen Gewichte. Es ist also

$$x = H \frac{s_1}{s}$$

Die specifischen Gewichte sind nun mit Einführung der Temperaturen auszudrücken. Hat die kältere Luft die Temperatur t^0 C., die wärmere die Temperatur T^0 C., so ist

$$s = \frac{1}{1 + at} \text{ und } s_1 = \frac{1}{1 + aT}$$

folglich

$$x = H \frac{1 + at}{1 + aT}$$

Die in die Geschwindigkeitsgleichung des freien Falls einzuführende Höhe ist aber

$$H - x \text{ oder } H\left(1 - \frac{1 + at}{1 + aT}\right)$$

Demnach wird die Ausflussgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{2\,g\,H\left(1 - \frac{1 + at}{1 + aT}\right)}$$

Diese Gleichung kann in eine andere Form gebracht werden, in welcher sie sich für specielle Berechnungen bequemer erweist. Es ist nämlich

$$1 - \frac{1 + at}{1 + aT} = \frac{a\,(T - t)}{1 + aT}$$

Wenn man Zähler und Nenner des letzten Bruches mit a dividirt, hat man als gleichen Werth

$$\frac{T - t}{\frac{1}{a} + T}$$

und da $\frac{1}{a} = \frac{1}{0{,}003\,665} = 273$ ist, hat man auch

$$1 - \frac{1 + at}{1 + aT} = \frac{T - t}{273 + T}$$

Setzt man diesen Werth in die Geschwindigkeitsgleichung für den eingeklammerten gleichen Ausdruck ein, so erhält man:

$$c = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + T}}$$

Dieses ist die allgemeine Gleichung für die theoretische Geschwindigkeit des Ausflusses einer kälteren Luftmasse in eine wärmere.

Die entwickelte Geschwindigkeitsgleichung ist für jedes beliebige Masssystem gültig; nur ist vorausgesetzt, dass die Grössen g und H in gleichartigem Masse angenommen werden; in demselben Masse erhält man alsdann auch die Geschwindigkeit c für die Secunde oder den Weg, welchen jedes ausfliessende Luftheilchen in einer Secunde zurücklegen würde, wenn es sich mit der beim Ausfluss erhaltenen Geschwindigkeit gleichförmig fortbewegen würde.

Für das Metersystem ist die Grösse g, die Beschleunigung der Schwere 9,81 Meter.

Beispiel:

Ein oben ganz oder theilweise offener Raum von 6 Meter Höhe sei mit kalter Luft von der Temperatur 0° angefüllt. Während am Boden des Raumes diese kalte Luft in die den Raum umgebende Luft, deren Temperatur 100° C. sei, ausfliesst, werde der Raum durch neuen Zufluss kalter Luft oder durch Abkühlung der oben eindringenden warmen Luft einige Zeit mit Luft von 0° angefüllt erhalten. Wie gross ist die theoretische Ausflussgeschwindigkeit in diesem Falle?

In die allgemeine Geschwindigkeitsgleichung ist nun einzusetzen: 6 statt H, 100 statt T, 0 statt t.

Demnach wird

$$c = \sqrt{\frac{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 6 \,.\, 100}{273 + 100}} = 5{,}62 \text{ Meter in der Secunde.}$$

§. 68.

Geschwindigkeit des Ausflusses einer relativ verdünnten Luftmasse.

Ein unten offenes theilweise mit warmer Luft gefülltes Gefäss sei von kälterer Luft umgeben. Ist das Gefäss oben geschlossen, so wird, wenn dieses selbst in Ruhe erhalten wird, auch die warme Luft vollkommen ruhig im obersten Theile des Gefässes bleiben. Hat das Gefäss an der Decke eine Oeffnung, dann wird die warme Luft durch diese Oeffnung emporgedrängt und fliesst mit abnehmender Geschwindigkeit aus, weil mit dem Emporsteigen der kälteren Luft im Gefässe die Differenz der an der Mündung wirkenden Druckkräfte, folglich die resultirende aufwärts gerichtete Kraft, welche auf jedes Lufttheilchen an der Mündung wirkt, vermindert wird. Bleibt aber während des Ausfliessens die warme Luft im Gefässe durch Zuführung neuer warmer Luft von derselben Temperatur oder durch entsprechende Erwärmung der zufliessenden kalten Luft beständig in derselben Tiefe oder Höhe H erhalten, so muss auch die Ausflussgeschwindigkeit constant sein.

Man hat hier die Geschwindigkeit des Ausflusses einer Flüssigkeit in ein specifisch schwereres Medium zu bestimmen. Die in dieser Hinsicht früher (§. 27) gemachten Untersuchungen können hier zu Grunde gelegt werden.

In die allgemeine Formel für die Geschwindigkeit des freien Falls wird anstatt der Fallhöhe jene Höhe gesetzt, welche sich ergiebt, indem man die gegebene Höhe H der warmen Luft von der Höhe einer Säule ebenso warmer Luft abzieht, welche einer äusseren kälteren Luftsäule von der Höhe H das Gleichgewicht halten würde, und welche Säule der wärmeren, specifisch leichteren Luft, anstatt der äusseren, kälteren Drucksäule wirkend zu denken ist.

Bezeichnet man mit s das specifische Gewicht der kälteren Luft, mit s_1 das der wärmeren, mit H die Höhe oder eigentlich Tiefe der warmen Luft unter der Ausflussmündung, also auch zugleich mit H die Höhe einer äusseren Säule der kälteren Luft, welche nicht im Gleichgewichte mit der inneren wärmeren ist, mit x die Höhe einer Säule der wärmeren Luft, welche jener äusseren Säule der kälteren Luft von der Höhe H das Gleichgewicht halten würde, folglich denselben Druck ausüben könnte, so hat man die Proportion:

$$x : H = s : s_1 \text{ und daraus } x = H \cdot \frac{s}{s_1}$$

Um die Temperaturen einzuführen, bezeichne man mit t die Temperatur der kälteren, mit T die Temperatur der wärmeren Luft, dann ist

$$x = H \frac{1 + aT}{1 + at}$$

Die in die Geschwindigkeitsformel des freien Falls einzusetzende Höhe ist hier

$$x - H = H\left(\frac{1 + aT}{1 + at} - 1\right)$$

Folglich wird

$$c = \sqrt{2\, g\, H\left(\frac{1 + aT}{1 + at} - 1\right)}$$

Vereinfacht man diesen Ausdruck in ähnlicher Weise wie in §. 67 geschehen, setzt man nämlich den Ausdruck in den Klammern

$$\left(\frac{1 + aT}{1 + at} - 1\right) = \frac{1 + aT - 1 - at}{1 + at}$$

$$= \frac{a\,(T - t)}{1 + at}$$

$$= \frac{T - t}{\frac{1}{a} + t}$$

$$= \frac{T - t}{273 + t}$$

so erhält man:

$$c = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}}$$

als allgemeine Formel für die theoretische Ausflussgeschwindigkeit der wärmeren Luft in kältere. Die Geschwindigkeit c gilt für die Secunde und erscheint in demselben Längenmasse wie g und H ausgedrückt.

Beispiel:

Ein unten offener Raum von 6 Meter Höhe sei mit Luft von der Temperatur 100° C. angefüllt, und werde, während die warme Luft an der Decke ausfliessen kann, beständig mit Luft von 100° C. angefüllt erhalten. Die Temperatur der äusseren Luft sei 0°. Es ist die theoretische Ausflussgeschwindigkeit der warmen Luft zu bestimmen.

In der letzten Formel ist nun

$$H = 6;\quad T = 100;\quad t = 0$$

und sonach

$$c = \sqrt{\frac{2\,.\,9{,}81\,.\,6\,.\,100}{273}} = 6{,}57 \text{ Meter in der Secunde.}$$

§. 69.

Vergleichende Betrachtungen.

Die allgemeinen Geschwindigkeitsformeln in §. 67 und §. 68, sowie die Resultate der daselbst gerechneten Beispiele lassen erkennen, dass unter gleichen Umständen die warme Luft mit grösserer Geschwindigkeit in die kältere fliesst, als die kalte Luft in die wärmere. Und doch ist der auf ein ausfliessendes Lufttheilchen wirkende, resultirende Druck, der Ueberdruck, welcher die Bewegung veranlasst, in beiden Fällen gleich gross. Bezeichnet man nämlich mit G das Gewicht der Volumeneinheit der kälteren, mit G_1 das Gewicht der Volumeneinheit der wärmeren Luft, so ist in beiden Fällen an der Ausflussöffnung die Grösse des resultirenden Druckes $(G\,H - G_1\,H)$; nur wirkt beim Ausflusse der kalten Luft dieser Druck in der Tiefe H am Boden des Raumes auf kalte Lufttheilchen und zwar abwärts, beim Ausflusse der warmen Luft in der Höhe H an der Decke des Raumes auf warme Lufttheilchen und aufwärts. Die Richtung der Bewegung hat für die theoretische Geschwindigkeit keinen Einfluss; denn man könnte am Boden des mit kalter Luft gefüllten Gefässes eine gekrümmte Röhre anbringen und mittels der-

selben der ausfliessenden Luft den vertical aufwärts gerichteten Weg anweisen; die theoretische Ausflussgeschwindigkeit ist ungeändert, wenn hiebei die beiden Mündungen der Röhre in gleichem Horizont liegen. Ebenso könnte man die wärmere Luft zwingen, durch eine erst nach oben gerichtete, dann abwärts gekrümmte Röhre mit derselben Geschwindigkeit wie vorher zu fliessen, und vertical abwärts, oder in irgend einer anderen Richtung auszufliessen. Die verschiedene theoretische Ausflussgeschwindigkeit aber in den obigen Fällen wird sich im Allgemeinen, ohne auf die Entwickelung der Formeln speciell einzugehen, daraus erklären lassen, dass die Moleküle der wärmeren Luft durch die Wärmeschwingungen weiter auseinander gehalten, folglich leichter verschiebbar sind, dass die wärmere Luft desshalb selbst auch weniger dicht, mehr beweglich ist als die kältere.

In welchem Verhältniss jene Ausflussgeschwindigkeiten im Allgemeinen verschieden sind, ergiebt sich, wenn man die beiden allgemeinen Formeln in §. 67 und §. 68 auf dem Wege der geometrischen Proportion vergleicht. Zu diesem Zwecke werde die Geschwindigkeit im ersten Falle wie früher mit c, im letzten Falle aber nun mit C bezeichnet. Alsdann hat man:

$$c : C = \sqrt{\frac{2\,g H\,(T - t)}{273 + T}} : \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}}$$

und wenn man vereinfacht und dabei beachtet, dass die Zahl 273 aus $\frac{1}{0{,}003\,665}$ oder $\frac{1}{a}$ entstanden ist:

$$c : C = \sqrt{\frac{1}{1 + a\,T}} : \sqrt{\frac{1}{1 + a\,t}}$$

das heisst: wenn bei gleicher Spannkraft einmal die kalte Luft in warme ausfliesst, das anderemal die warme Luft in die kalte, in beiden Fällen die Höhen der Luftmassen in den Räumen oder die Räume selbst, sowie die Temperaturen beziehungsweise dieselben sind, die Grösse des Ueberdrucks also in beiden Fällen gleich ist, so verhalten sich die Ausflussgeschwindigkeiten umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den Dichten oder specifischen Gewichten der ausfliessenden Luft.

Weiter erkennt man aus jeder der allgemeinen Geschwindigkeitsgleichungen noch den Satz:

Die Ausflussgeschwindigkeiten sind den Quadratwurzeln aus den Höhen der Luftmassen in den Räumen und nahezu auch den Quadratwurzeln der Temperaturdifferenzen der inneren und äusseren Luft proportional, wenn die übrigen Umstände dieselben, die Fälle selbst principiell ähnlich sind.

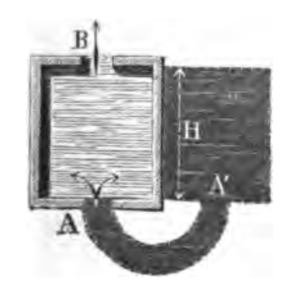
§. 70.

Verhältniss der Oeffnungen für den Durchfluss gleicher Luftmassen von ungleicher Temperatur.

Es soll nun untersucht werden, in welchem Verhältnisse die Zuflussöffnung der kalten Luft und die Abflussöffnung der warmen Luft stehen müssen, wenn bei ungestörter Strömung die Zuflussmenge, dem Gewichte oder der Masse nach genommen, immer gleich der für eine bestimmte Abflussöffnung möglichen Abflussmenge sein soll.

Fig. 55 stelle einen Raum vor, in welchem die Luft beständig auf die höhere Temperatur T^0 erwärmt werde, während die Luft ausserhalb des Raumes die Temperatur t^0 habe. Der Raum sei an der Decke und am Boden mit Oeffnungen versehen; nun wird die äussere kältere Luft an der unteren Oeffnung einen grösseren Druck vertical aufwärts ausüben, als daselbst die wärmere specifisch leichtere Luft im Raume vertical abwärts, die kalte Luft muss in Folge dessen unten zufliessen und wird die wärmere Luft durch die obere Oeffnung verdrängen.

Fig 55.



Ist die untere Oeffnung viel grösser als die obere, so hat man denselben Fall, als ob das Gefäss unten ganz offen wäre; ist dagegen die untere Oeffnung sehr klein im Verhältnisse zur oberen Oeffnung, so wird nicht soviel warme Luft ausfliessen, als bei der bestimmten Druckhöhe und der bestimmten Temperaturdifferenz bei ungehindertem Zuflusse ausfliesst, weil offenbar nicht mehr Luft oben abfliessen kann, als zugleich auf anderem Wege, hier also am Boden zufliesst. Es ist demnach wichtig, den kleinsten zulässigen Querschnitt der unteren Oeffnung zu kennen, wenn die Grösse der oberen nach bestimmten Bedingungen berechnet ist, und die Geschwindigkeit der Strömung, die Menge der umzutauschenden Luft jener Grösse möglichst entsprechen soll, ohne dass die Oeffnung am Boden grösser ist als nothwendig. Ebenso könnte durch gewisse Bedingungen die Grösse der Oeffnung am Boden festgestellt sein, dann wären hienach die richtigen Dimensionen der Oeffnung an der Decke zu bestimmen. Ueberhaupt ist also das Verhältniss der Grössen beider Oeffnungen möglichst allgemein und für specielle Fälle leicht anwendbar festzustellen. Die praktischen Regeln, welche man

in dieser Hinsicht aufgestellt findet, weichen, weil sie eben speciellen Fällen abstrahirt sind, so sehr von einander ab und sind meist so ungenügend begründet, dass eine solche Untersuchung hier am rechten Platze sein wird.

Da die Luft über dem betrachteten Raume für sich selbst im Gleichgewicht ist, ihr Druck sowohl unmittelbar in B abwärts, als auch ausserhalb des Raumes in derselben Grösse nach A, und von da im Raume selbst nach B fortgepflanzt, vertical aufwärts wirkt, so heben sich diese beiden Druckkräfte gegenseitig auf, die Luftmasse über dem Raume braucht nicht weiter berücksichtigt zu werden. Die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft durch die Oeffnung A eindringt, hängt nur von dem Drucke einer äusseren schweren Luftsäule von der Höhe H und dem Gegendrucke der gleichhohen leichteren Luftsäule im Raume ab, wenn die beiden Oeffnungen im richtigen Verhältniss angeordnet sind. Man kann sich, wie es in der Figur punktirt angedeutet ist, die äussere kältere Luft theilweise in einem Gefässe oder Raume gesammelt denken, aus welchem sie unten ausfliesst; ob sie aber in A^1 vertical abwärts in ein wärmeres Luftmedium oder in die wärmere Luft bei A vertical aufwärts geleitet wird, ist gleichgültig, weil der die Bewegung veranlassende Ueberdruck und die bewegte Masse in beiden Anschauungen dieselben bleiben.

Unter den vorliegenden Umständen bewegt sich, wie in §. 69 gezeigt wurde, die warme Luft schneller als die kältere; demnach kann jedenfalls durch gleiche Querschnitte in der Zeiteinheit ein grösseres Volumen der warmen Luft fliessen als der kalten, und desshalb müsste die untere Oeffnung grösser sein als die obere, wenn beide beständig eine gleiche Volumenmenge hindurchlassen sollen. Weil aber wieder die eingeflossene kalte Luft bei der Erwärmung ihr Volumen vergrössert, so tritt dieser Umstand dem vorigen entgegen und es fragt sich nur, welcher von beiden den grösseren Einfluss behält, und in welchem Verhältnisse sich der überwiegende Einfluss geltend macht. Einiges Nachdenken lässt schon erkennen, dass der letztere Umstand überwiegen muss; die Volumenvergrösserung verlangt (unter Voraussetzung gleicher Geschwindigkeiten) unmittelbar, im directen Verhältnisse, eine Vergrösserung der Abflussöffnung, gestattet demnach ebenso eine verhältnissmässige Verkleinerung der Zuflussöffnung, während die Dichte der Luft, insofern sie auf die Bewegung selbst Bezug hat, im verminderten Verhältnisse, nämlich unter dem Wurzelzeichen in der Rechnung auftritt.

Es sei allgemein für beliebige Durchflussmengen:

A der Querschnitt der Zuflussöffnung der kalten Luft von der Temperatur t^0 C,

B der Querschnitt der Abflussöffnung der warmen Luft von der Temperatur T^0 C,

G_1 das absolute Gewicht der secundlichen Zuflussmenge,

G_2 das absolute Gewicht der secundlichen Abflussmenge.

Die Gewichtsmengen G_1 und G_2 verhalten sich wie die Producte aus den Volumenmengen und den specifischen Gewichten, die Volumenmengen selbst wieder wie die Producte aus den Durchflussquerschnitten A und B und den zugehörigen Geschwindigkeiten.

Man kann also, wenn man mit Rücksicht auf den gleichen Ueberdruck nach §. 69 sogleich die Verhältnisswerthe der Geschwindigkeiten einführt, die Proportion schreiben:

$$G_1 : G_2 = \left(A \sqrt{\frac{1}{1+aT} \cdot \frac{1}{1+at}}\right) : \left(B \sqrt{\frac{1}{1+at} \cdot \frac{1}{1+aT}}\right)$$

$$= A \sqrt{1+at} \cdot \frac{1}{1+at} : B \sqrt{1+aT} \cdot \frac{1}{1+aT}$$

$$= A \sqrt{\frac{1}{1+at}} : B \sqrt{\frac{1}{1+aT}}$$

Soll $G_1 = G_2$ sein, so ist auch zu setzen

$$A \sqrt{\frac{1}{1+at}} = B \sqrt{\frac{1}{1+aT}}$$

oder es verhält sich

$$A : B = \sqrt{\frac{1}{1+aT}} : \sqrt{\frac{1}{1+at}}$$

das heisst: **Sollen in gleichen Zeiten gleiche Gewichtsmengen kalter und warmer Luft durch beide Oeffnungen fliessen, und zwar die dem Ueberdruck entsprechenden möglichst grossen Mengen, so müssen sich die Grössen der Oeffnungen umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der durch diese Oeffnungen fliessenden Luft.**

Hat z. B. die **äussere Luft** die Temperatur 0^0 und wird sie im angenommenen Raume auf 100^0 C. erwärmt, so ist $t = 0$ und $T = 100$, und die Proportion wird

$$A : B = \sqrt{1+a.0} : \sqrt{1+a.100}$$
$$= 1 : \sqrt{1+0{,}003\,665 \,.\, 100}$$
$$= 1 : \sqrt{1{,}3665}$$
$$= 1 : 1{,}168\,97$$

oder abgerundet:

$A : B = 100 : 117$, oder auch fast genau:

$A : B = 6 : 7$

Die untere Oeffnung könnte also 100 Quadratcentimeter haben, alsdann sollte die Grösse der oberen 117 Quadratcentimeter sein; bei quadratischen Oeffnungen wäre hiebei die Seite der unteren Oeffnung 10 Centimeter, die Seite der oberen 10,8 Centimeter.

Wäre wieder $t = 0^{\circ}$, aber $T = 10^{\circ}$ C., so wird ebenso gefunden

$A : B = 1 : 1{,}018$.

Bei einer Temperaturdifferenz von 10° ist demnach der Unterschied der beiden Oeffnungen ausserordentlich gering. Dieser Unterschied wächst mit der zunehmenden Temperaturdifferenz und kann für geringe Temperaturunterschiede unbeachtet bleiben.

Man sieht jedoch, dass überhaupt die Zuflussöffnung der kälteren Luft kleiner sein dürfte als die Ausflussöffnung der warmen Luft. Die Beweglichkeit der warmen Luft ist allerdings grösser als bei dem gleichen Drucke die der kälteren Luft, und davon ist auch die Geschwindigkeit der Strömung auf beiden Seiten abhängig; allein der Einfluss der grösseren Dichte der kalten Luft auf die zu erhaltende Masse oder Gewichtsmenge ist noch bedeutender.

§. 71.

Absolute Luftverdünnung.

Die absolute Luftverdünnung ist immer von Verminderung der Spannkraft begleitet.

Absolut verdünnt, eigentlich verdünnt kann eine Luftmasse genannt werden, wenn sie überhaupt weniger Masse enthält, als ihrem Volumen unter dem Atmosphärendrucke bei der betreffenden Temperatur zukommt. Es kann von zwei gleich grossen Räumen der eine wärmere Luft enthalten, das heisst weniger Massentheilchen, aber um so mehr Wärme, der andere Raum dagegen kältere Luft, das heisst weniger Wärme, aber um so mehr Massentheilchen. Es ist möglich, dass jede der beiden Luftmassen hinreichende Spannkraft besitzt, um dem Atmosphärendrucke das Gleichgewicht zu halten, und dann ist auch jede der beiden Luftmassen in ihrer Art dicht, absolut dicht zu nennen. Vermag eine Luftmasse vermöge ihrer Spannkraft den Luftdruck noch zu überwinden, so kann sie als absolut verdichtet bezeichnet werden.

Erleidet eine Luftmasse einen Verlust an Masse oder

an Wärme ohne zugleich ihr Volumen entsprechend vermindern zu können, oder wird der Raum der Luftmasse vergrössert, ohne dass dieselbe zugleich hinreichend an Masse oder Wärme gewinnt, so entsteht jedesmal absolute Luftverdünnung.

Man kann auch sagen: Eine Luftmasse ist absolut verdünnt, wenn ihre Temperatur geringer ist, als die Temperatur einer gleich grossen und gleich schweren Luftmasse unter dem Atmosphärendrucke; oder: eine Luftmasse ist absolut verdünnt, wenn ihr specifisches Gewicht geringer ist, als das der ebenso warmen Luft unter dem Atmosphärendrucke. (Es ist hiebei natürlich immer Luft von gleicher Zusammensetzung verstanden, entweder vollständig reine Luft oder Luft mit bestimmter Menge Kohlensäure, Wassergas u. s. w.) Insofern diese Erklärungen nur späteren Untersuchungen in Bezug auf Ventilation und Heizung zu Grunde gelegt sein sollen, genügt es unter der eben mehrfach angeführten Bezeichnung „Atmosphärendruck" den jeweiligen Atmosphärendruck oder Luftdruck in freier Luft an irgend einem bestimmten Orte anzunehmen. Will man im strengeren Sinne nur die Luft, welche durch ihre Spannkraft dem eigentlichen, vollständigen Atmosphärendrucke widersteht, als absolut dicht bezeichnen, so giebt es in der freien Atmosphäre nur im Horizont des Meeresspiegels absolut dichte Luft. In grösserer Höhe nimmt das Gewicht der über einer bestimmten Luftschicht lagernden Luftmassen ab, die Spannkraft der Luft hat nur dem geringeren Luftdrucke das Gleichgewicht zu halten, diese Spannkraft ist also selbst auch geringer. Solche absolute Verdünnung der Luft wird in bedeutenden Höhen über dem Meeresspiegel und bei niederem Barometerstande sehr bemerkbar. Die ausserordentliche Ermüdung bei Reisen auf hohen Gebirgen ist grossentheils Wirkung des abnehmenden Luftdrucks, somit der absoluten Luftverdünnung. Die Gebrüder Weber haben nachgewiesen, dass der Schenkelkopf in der Beckenpfanne durch den Luftdruck erhalten wird. Wenn also die Luft der Umgebung in solchem Grade absolut verdünnt ist, dass der durch ihre Spannkraft ausgeübte Druck in der Richtung gegen die Beckenpfanne dem Gewichte des Beines nicht mehr gleich ist, so muss dieses während des Gehens von den Muskeln getragen werden. Ebenso kommt es auf hohen Gebirgen, sowie besonders in noch höheren Regionen bei Luftschifffahrten vor, dass das Blut aus den Poren zum Vorschein kommt, eine dem Schröpfen ähnliche Erscheinung, welche der überwiegenden Spannkraft der im Körper befindlichen elastischen Flüssigkeiten zuzuschreiben ist.

Ob von zwei Luftmassen an einem bestimmten Orte die eine in höherem oder geringerem Grade absolut verdünnt ist, giebt sich dadurch zu erkennen, dass, sobald Vereinigung der beiden Luftmassen möglich ist, bei jeder Lage dieser Luftmassen oder der sie enthaltenden Räume die weniger verdünnte Luft vermöge ihrer grösseren Spannkraft immer nach dem Raume hinfliesst, wo sich die absolut dünnere Luft befindet.

Ist die absolut dünnere Luft in einem Gefäss eingeschlossen, so erleiden die Wände des Gefässes von aussen einen grösseren Druck, als von innen; sind diese Wände hinlänglich elastisch, zusammendrückbar, so bewirkt der überwiegende äussere Druck eine Verkleinerung des Raumes, ein Zusammenpressen der Wände, bei gewissen Einrichtungen die Verschiebung eines Kolbens u. dgl. Ist dagegen die äussere Luft absolut dünner, so muss die umgekehrte Erscheinung eintreten, weil dann die Spannkraft und folglich der Druck der eingeschlossenen Luft überwiegend zur Wirkung gelangt.

Sind die beiden Luftmassen von verschiedener Spannkraft durch eine nicht elastische Flüssigkeit getrennt, so wird diese nach jenem Raume hingedrängt, wo sich die Luft von geringerer Spannkraft, die absolut dünnere Luft befindet.

§. 72.

Beispiele der absoluten Luftverdünnung.

1) Ein Apparat, welcher dazu dient, die Luft in einem abgeschlossenen Raume mit Verminderung ihrer Spannkraft oder absolut in jedem beliebigen Grade zu verdünnen, ist die L u f t p u m p e, Expansionspumpe. Die zu verdünnende Luft befindet sich im Recipienten, einer Glasglocke, welche mit geschliffenem Rande auf eine geschliffene Platte aufgesetzt ist. An der Platte ist eine mit Ventilen versehene Röhre angebracht, in welcher sich ein Kolben bewegen lässt. Zieht man den Kolben in der Röhre zurück, so muss die Luft aus dem Recipienten in die Röhre fliessen. Durch ein Ventil kann die zwischen den Kolben und die Recipientenplatte eingedrungene Luft nach aussen entweichen, während man den Kolben wieder gegen den Recipienten stösst. Durch vielmaliges Wiederholen dieses Verfahrens kann man bei Weitem die grösste Menge der Luft aus dem Recipienten entfernen, so dass eine zurückbleibende Luftmenge, welche bei der anfänglichen Spannkraft der Luft einen sehr

kleinen Raum eingenommen hat, schliesslich den ganzen Raum des Recipienten ausfüllen muss. Mit der Raumvergrösserung dieser Luftmenge ist eine Verminderung des specifischen Gewichts und der Spannkraft derselben eingetreten, die Luft im Recipienten ist im directen Verhältnisse der allmählichen Raumvergrösserung absolut verdünnt worden.

In der absolut verdünnten Luft unter dem Recipienten der Luftpumpe kann man eine Menge interessanter Erscheinungen beobachten, von welchen einige hier angeführt werden mögen. Eine zum Theil mit Luft gefüllte, fest zugebundene Blase dehnt sich unter dem Recipienten während der Verdünnung der Luft immer mehr aus und zerplatzt endlich; der Pfropf wird aus einer mit der äusseren Luft gefüllten Flasche herausgetrieben; ein an dem spitzen Theile angebohrtes Ei entleert sich; Holz und andere poröse Körper verlieren die in ihren Poren enthaltene Luft; aus Wein, Bier und anderen Flüssigkeiten entwickeln sich eine Menge Luftblasen, während die Luft um diese Gegenstände unter der Luftpumpe stark verdünnt wird.

2) Das Emporheben des Wassers aus einer gewissen Tiefe mittels der sogenannten Saugpumpe beruht ebenfalls auf der Verminderung der Spannkraft einer abgesperrten Luftsäule, auf der absoluten Luftverdünnung. In der Pumpenröhre zwischen dem Kolben und dem Wasserspiegel (im Stiefel und der Saugröhre) wird die Luft auf ähnliche Weise verdünnt, wie die Luft im Recipienten der Luftpumpe. Dadurch wird für die Flächeneinheit der Druck der Atmosphäre auf den äusseren Wasserspiegel alsbald viel grösser, als der auf das Wasser in der Röhre durch die noch darin befindliche Luft ausgeübte Druck, und der überwiegende äussere Druck hebt das Wasser in der Röhre empor.

3) Man fülle eine Flasche mit warmer Luft, indem man sie einige Zeit, am besten mit der Mündung nach unten gekehrt, auf den warmen Ofen stellt, verschliesse sodann die Flasche und bringe sie in einen kälteren Raum. Nach einiger Zeit erfordert es merklich grössere Kraft, den Pfropf herauszuziehen, als wenn dieses sogleich wieder nach dem Verschliessen der Flasche geschieht. Hält man während des Oeffnens der erkalteten Flasche den Hals derselben unter Wasser, so wird das Wasser mit um so grösserer Heftigkeit in die Flasche gepresst, je grösser die Temperaturdifferenz der Flasche vom Schliessen bis zum Oeffnen derselben geworden ist. Die Erklärung dieser Erscheinung liegt nahe: die warme Luft hat anfangs die Spannkraft, welche dem derzeitigen Luftdrucke jenes Ortes entspricht; sie erkaltet, weil ein Theil ihrer Wärme an die kältere Umgebung übergeht. Während dieses geschieht, wird die Spannkraft der Luft in der Flasche im Verhältnisse des Wärme-

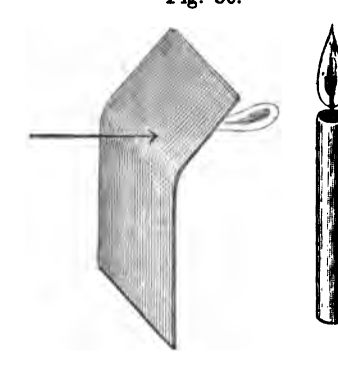
verlustes geringer, die Luft wird absolut dünner, als die äussere Luft, welche nun durch überwiegenden Druck den Kork in die Flasche drängt, oder das Wasser in die Flasche treibt.

Recht augenscheinlich zeigt sich in diesem Versuche der Unterschied zwischen der relativen und absoluten Verdünnung der Luft, der Verdünnung ohne und mit Verminderung der Spannkraft. Die Flasche, nach der Erhitzung verschlossen, taucht nun, wie auch nachdem sie erkaltet ist, immer gleich tief im Wasser ein; das ganze Gewicht der Luft in demselben Raume, also auch das specifische Gewicht oder die sogenannte Dichte der Luft ist nicht geändert worden; aber ein grosser Theil der Wärme ist entwichen und hiemit musste sich die eigentliche, die absolute Verdünnung der Luft kundgeben. Absolute Luftverdünnung entsteht immer, wenn warme Luft bei constantem Volumen abgekühlt wird.

4) Füllt man eine Flasche theilweise mit heissem Dampfe, indem man ihre Mündung über kochendes Wasser hält, und schliesst die Flasche alsdann, so dringt, wenn man nach gehöriger Abkühlung die Mündung der Flasche während des Oeffnens unter Wasser hält, Wasser in die Flasche; dieses geschieht mit um so grösserer Heftigkeit, je mehr Dampf man in die Flasche eindringen liess.

Man kann auf diese Weise die absolute Luftverdünnung auf einen unendlich hohen Grad bringen, das heisst, das Gefäss luftleer machen. Ist dieses der Fall, so muss nach der Abkühlung das empordringende Wasser fast die ganze Flasche füllen; eine geringe Menge des Dampfes bleibt jedoch als solcher, wenn auch bei niederer Temperatur von sehr geringer Spannkraft in der Flasche vorhanden.

Fig. 56.



In ähnlicher Weise muss immer absolute Luftverdünnung entstehen, wenn der Wasserdampf in einer feuchten Luftmasse sich theilweise condensirt und die dabei frei werdende Wärme an die Umgebung übergeht.

5) Man halte einen ziemlich steifen und dabei elastischen flachen Gegenstand, etwa ein Kartenblatt, neben eine Flamme (Fig. 56). Schnellt man nun auf irgend eine Weise, etwa mit dem Zeigefinger über den Mittelfinger hinweg, heftig an irgend eine Stelle der von der Flamme abgewandten Fläche, so dass die Karte sich plötzlich gegen die Flamme bewegt, so springt die Flamme in demselben Mo-

mente an eben die Stelle der vorderen Kartenfläche, wo die hintere Fläche geschnellt wurde; es kann hiebei der Stoss so geführt werden, dass seine normal von der gestossenen Stelle vor der Karte fortgesetzt gedachte Richtung durch die Flamme, oder auch in einiger Entfernung an derselben vorbeigeht.

Diese Erscheinung wird sich auf folgende Weise erklären lassen: Durch den plötzlichen Stoss auf das Blatt werden die in der Nähe der gestossenen Stelle ruhenden Lufttheilchen hinweggeschleudert, wie auch Wassertropfen an dieser Stelle hinweggeschleudert würden. Da die den geschnellten Lufttheilchen mitgetheilte Kraft sich auch noch auf eine Menge von Lufttheilchen fortpflanzt, so bewegen sich alle diese mit bedeutender Schnelligkeit in divergirenden Richtungen von der gestossenen Stelle hinweg. In der That bemerkt man auch, wenn die Stelle des Stosses gerade hinter der Flamme gewählt wird, zunächst eine geringe Bewegung der Flamme in der Richtung des Stosses. Auf diese Weise muss an der gestossenen Stelle momentan eine Leere, dann eine absolute Luftverdünnung in grösserer Ausdehnung entstehen. Das Herbeiströmen der Luft aus der Umgebung, wodurch auch die Flamme in derselben Richtung mitgerissen wird, erklärt sich demnach von selbst. Diese Vorgänge folgen einander mit so ausserordentlicher Schnelligkeit, dass das Auge in demselben Momente schon die Flamme zurückspringen sieht, in welchem das Ohr den Schlag vernimmt.

Dass diese Erscheinung nicht auf einer optischen Täuschung beruht, dass nämlich nicht erst dem wieder zurückspringenden Blatte die Flamme folgt, davon kann man sich überzeugen, wenn mittels einer Feder die Einrichtung so getroffen wird, dass das Blatt nur gegen die Flamme, aber nicht wieder von selbst zurückspringen kann.

§. 73.

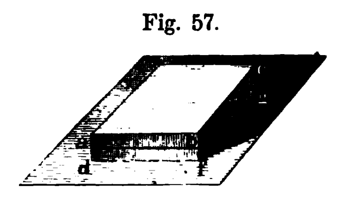
Wirkungen der Reibung und Ausbreitung eines Luftstroms.

Häufig entsteht absolute Luftverdünnung dadurch, dass ruhige oder wenig bewegte Luftschichten durch die Reibung von einem Luftstrome hinweggerissen werden. Zur Erklärung dieser Erscheinung wird man von den anerkannten Gesetzen der Reibung fester Körper ausgehen dürfen.

Von zwei Körpern, etwa Scheiben oder Platten (Fig. 57), sei die eine auf der Unterlage befestigt; die andere liege unbefestigt auf der ersten, so dass sich beide Platten in der Fläche *abc* berühren. Soll die

obere Platte verschoben werden, so ist eine Kraft nöthig, welche den Reibungswiderstand überwindet. Die Grösse des Reibungswiderstandes oder geradezu der Reibung (Friction) ist $F = N \,.\, f$, wenn man mit F die Reibung in der Fläche abc, mit N den Normaldruck oder bei horizontaler Lage der Berührungsfläche das Gewicht der oberen Platte und mit f den aus der Erfahrung bekannten Reibungscoëfficienten bezeichnet, welcher bei verschiedenen Körpern verschieden, bei rauhen Körpern grösser ist, als bei glatten. Eine äussere Kraft, welche an der oberen Platte horizontal wirkend nur wenig grösser ist, als der Reibungswiderstand $N \,.\, f$, setzt die Platte in Bewegung.

Fig. 57.



Ist die untere Platte nicht auf der Unterlage befestigt, so wird dieselbe bei Verschiebung der oberen Platte dennoch in Ruhe bleiben, ebenso, als ob sie auf der Unterlage befestigt wäre, wenn der Reibungswiderstand $F_1 = N_1 f_1$ (wobei N_1 das Gewicht beider Platten und f_1 den Reibungscoëfficienten in der Fläche dfg bezeichnet) grösser ist als Nf.

Ist die Reibung in der Fläche dfg geringer als in der Fläche abc, wenn z. B. die in dfg sich berührenden Flächen sehr glatt, die in abc rauh sind, so werden die beiden Platten zu gleicher Zeit verschoben, als wären sie an einander befestigt, sobald man die obere verschiebt.

Sind endlich die Reibungswiderstände in abc und in dfg vollständig gleich, so kann man ebensowenig annehmen, dass bei Verschiebung der obern Platte die untere in Ruhe bleibe, als man annehmen kann, dass beide Platten, als wären sie verbunden, sich gleichmässig mit einander fortbewegen. Die Reibung der oberen Platte an der unteren trägt ebensoviel zur Fortbewegung der letzteren bei, als die gleiche Reibung dieser an der festen Unterlage die Bewegung hindert. Man wird demnach annehmen müssen, dass die untere Platte allerdings in Bewegung kommt, sobald man die obere verschiebt, dass sie aber in der gleichen Zeit nur die Hälfte jenes Weges zurücklegen wird, welchen die obere Platte zurücklegt.

Nimmt man nun an, dass nicht nur zwei, sondern beliebig viele Platten auf einander liegen, dass die Reibungscoëfficienten nach unten in demselben Verhältniss abnehmen, wie das Gewicht zunimmt, dass also überhaupt die Reibung in allen sich berührenden Flächen gleich gross sei, so gilt für je zwei sich berührende Platten dasselbe wie vorhin,

sobald die obere Platte bewegt wird (Fig. 58). Der Weg, den jede Platte in der Zeiteinheit macht, ist nur halb so gross, als der, welchen die nächst darüberliegende zurücklegt. Es ist dieses in der Figur durch die punktirten Linien angedeutet.

Fig. 58.

Wenngleich für die Berechnung des Reibungswiderstandes bewegter Luft an Röhrenwandungen, wie später gezeigt wird, die Vorstellung eine andere sein muss, so kann man doch im vorliegenden Falle die obige Anschauungsweise auch auf die Luft ausdehnen.

Denkt man sich anstatt der übereinander liegenden Platten (in Fig. 58) beliebig viele Luftschichten, natürlich von ausserordentlich geringer Dicke, und anstatt der obersten Platte, welche durch die äussere Kraft bewegt wurde, eine bewegte Luftmasse, einen Luftstrom, so wird ebenfalls die Bewegung dieses Stromes durch Reibung auf die Umgebung einwirken. Einerseits muss die Geschwindigkeit der äussersten Lufttheilchen dieses Stromes selbst verzögert werden, andererseits werden aber auch die den Strom begrenzenden Luftmassen nicht in Ruhe bleiben können. Der Luftstrom wird die ihn berührenden Lufttheilchen mit sich fortreissen, die nächsten Lufttheilchen werden wieder von diesen fortgerissen, aber schon nicht mehr mit solcher Geschwindigkeit u. s. f.

Da die einzelnen Lufttheilchen, folglich die einzelnen Luftschichten eine ausserordentlich geringe Dicke haben, so kann ein Luftstrom unmittelbar durch Reibung nur auf geringe Entfernungen in der ihn umgebenden Luft eine Wirkung äussern. Desswegen kann auch in geringer Höhe in der Atmosphäre die Luftströmung sehr heftig sein, während wir am Boden Windstille zu haben glauben.

Doch kann unter verschiedenen Umständen durch die Reibung eines Luftstroms sehr bemerkbare absolute Luftverdünnung verursacht werden; z. B. wo ein Luftstrom in einen Raum, der ruhige Luft enthält, mit Heftigkeit einfliesst, also gleichsam an der Quelle eines Luftstroms; daselbst wird beständig eine Luftmenge in den Strom gerissen, die durch ruhigere, aus grösserer Entfernung nachfliessende Luft ersetzt werden muss. Ferner wenn einem Luftstrome eine feste Fläche normal oder schräg im Wege steht, so wird ein Theil der ruhigeren Luft hinter dieser Fläche weggeführt.

Wenn endlich ein Luftstrom von seiner Quelle ab divergirend fliesst, so wird die Reibungsfläche in grösserer Entfernung von der

Quelle grösser und es werden vom ganzen Strome beständig neue Lufttheilchen aus der Umgebung mitgerissen. Bei dieser Ausbreitung eines Stromes muss die Luft, welche er mit sich führt, selbst auch absolut verdünnt werden, wenn der Strom vermöge der ihm an seiner Quelle ertheilten Geschwindigkeit und seines Beharrungsvermögens sich in grösserem Verhältnisse ausbreitet, als zugleich seine Geschwindigkeit abnimmt.

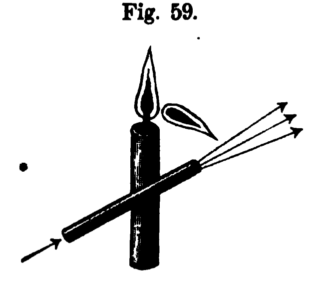
Die Reibung und Ausbreitung des Stromes treten häufig gemeinsam als Ursachen der absoluten Luftverdünnung auf. Versuche lassen sich in dieser Beziehung in Menge auf die einfachste Art anstellen; einige mögen hier folgen.

§. 74.

Beispiele für die durch Reibung und Ausbreitung eines Luftstroms verursachte absolute Luftverdünnung.

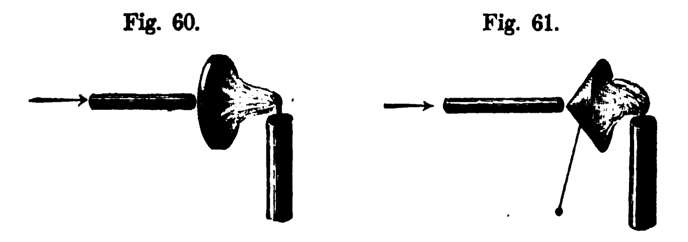
1) (Fig. 59.) Bläst man mittels eines Blasebalges, oder auch nur mit dem Munde, wobei man sich eines engen Röhrchens bedienen kann, an der Seite einer Flamme vorbei, so neigt sich die Flamme entschieden gegen den Luftstrom.

Fig. 59.



2) (Fig. 60). Hält man mittels einer Pincette oder Zange hinter eine Flamme einen flachen Körper, etwa ein Geldstück, und bläst mit einem Röhrchen normal gegen die Mitte dieses Körpers, so bespült die Flamme die ganze ihr zugekehrte Seite jenes Körpers.

Fig. 60. Fig. 61.



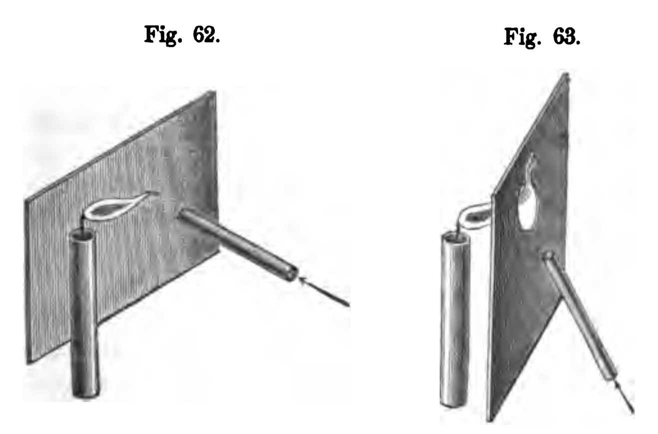
3) (Fig. 61.) Nimmt man statt des flachen Gegenstandes einen hohlen Kegel, einen kleinen konischen Schirm (man kann denselben

leicht aus Papier fertigen und ihn mittels einer durchgesteckten Nadel festhalten, während man den Versuch anstellt), und bläst man gegen die Spitze des Schirmes, so füllt die Flamme den hohlen Theil desselben.

Kehrt man den Schirm um und bläst nun in den hohlen Theil, so bestreicht die Flamme die äussere Fläche. Durch geringe Veränderung der Richtung, in welcher man bläst, wird auch die Richtung der Flamme geändert; immer aber neigt sich dieselbe gegen den Luftstrom hin.

4) (Fig. 62.) Bläst man auf irgend eine Weise und in beliebiger Richtung gegen einen flachen Gegenstand, etwa gegen ein nahezu vertical gehaltenes Blatt Papier oder gegen eine Wand, während eine brennende Kerze in der Nähe sich befindet, so richtet sich die Flamme immer gegen diese Fläche. — Man erkennt hieraus zugleich, dass die bewegte Luft, welche einen festen Körper trifft, nicht wie elastische feste Körper unter demselben Winkel zurückprallt; diese Ansicht vernimmt man sehr häufig. Man sieht im Gegentheil, dass der Luftstrom sich nach allen Seiten ausbreitet, die Richtung der Fläche selbst verfolgend.

Fig. 62. Fig. 63.

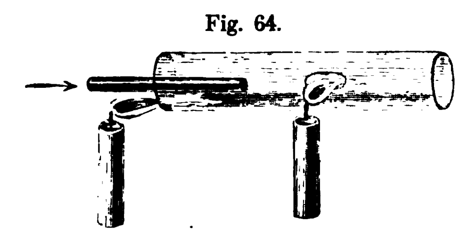


5) (Fig. 63.) Schneidet man in ein Blatt Papier eine Oeffnung von beliebiger Grösse und bläst gegen die Fläche so, dass der Luftstrom über die Oeffnung wegfliessen muss, so wird die Flamme einer auf der anderen Seite stehenden Kerze durch die Oeffnung herübergezogen.

6) (Fig. 64.) Bläst man mit einer engen Röhre in eine weitere, welche mit beliebigen Oeffnungen versehen ist, so wird an allen offe-

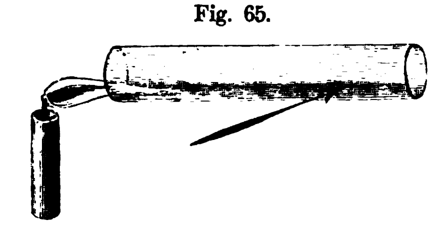
nen Stellen, mit Ausnahme natürlich jener Stelle, wo der Strom aus der Röhre austritt, die Flamme in die Röhre gezogen.

Fig. 64.



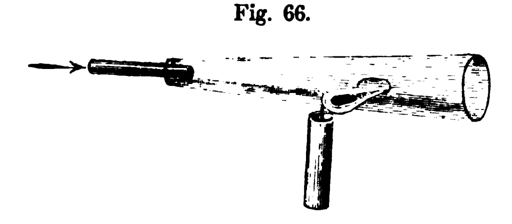
7) (Fig. 65.) Dieselbe Erscheinung bietet sich, wenn man über das eine Ende der Röhre hinwegbläst; dabei hat man sich aber zu hüten, dass man nicht einen Theil der ausgeblasenen Luft in die Röhre selbst treibt; denn sobald dieses geschieht, muss sich die Flamme vom anderen Ende abwenden. Man blase über ein etwas geneigt gegen die Röhre gehaltenes Blatt Papier, oder unmittelbar schräg gegen die eine Oeffnung an der Röhre hin.

Fig. 65.



8) (Fig. 66.) Bläst man in eine konische Röhre, welche mit Seitenöffnungen von beliebiger Grösse versehen und an beiden Enden offen ist, an dem engeren Ende mit einiger Heftigkeit Luft ein, so wird eine in der Nähe einer der Seitenöffnungen angebrachte Flamme in die Röhre gezogen.

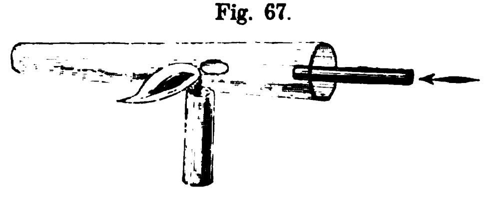
Fig. 66.



Von der Ausbreitung des Stromes überzeugt man sich am leichtesten durch Umkehrung dieses Versuches:

(Fig. 67.) Schliesst man nämlich die Oeffnung am weiten Ende und bläst nun daselbst mittels eines Röhrchens, dessen Durchmesser sogar bei Weitem geringer ist, als der Durchmesser der konischen Röhre am anderen Ende, so wird die Flamme von der Seitenöffnung weggetrieben. Dasselbe ist auch der Fall, wenn man die Oeffnung nicht schliesst, sondern unmittelbar mit dem engen Röhrchen in die grosse Oeffnung bläst.

Fig. 67.



9) (Fig. 68.) Folgender Versuch wurde von Clement und Desormes angegeben:

An der einen Oeffnung eines engen Röhrchens ist eine Scheibe befestigt und darunter in geringer Entfernung eine zweite Scheibe mittels einiger Stifte verschieblich angebracht. Bläst man durch das Röhrchen gegen die untere Scheibe, so wird dieselbe emporgehoben und an der oberen Scheibe festgehalten.

Fig. 68.

10) Die einfachste Art, einen ähnlichen Versuch anzustellen, giebt Faraday an wie folgt:

Man schliesse die Finger der offenen Hand fest an einander, so bleibt doch noch von Gelenk zu Gelenk ein spaltartiger Zwischenraum. Während man die Hand horizontal hält, so dass die innere Fläche abwärts gekehrt ist, bringe man die Lippen über den Zwischenraum zwischen dem Zeigefinger und Mittelfinger nahe an ihren Wurzeln und blase möglichst stark. Bringt man ein Stück Papier, welches nicht allzuschwer ist, etwa 25 Quadratcentimeter gross, an die Oeffnung, durch welche der Luftstrom hindurchgeht, so wird es weder durch den Strom fortgeblasen, noch fällt es durch sein Gewicht herab, was aber sogleich geschieht, sobald man mit dem Blasen aufhört. — Bei Personen, die sehr fleischige Finger haben, gelingt dieses Experiment natürlich nicht, weil der spaltartige Zwischenraum fehlt.

§. 75.

Geschwindigkeit der durch absolute Luftverdünnung veranlassten Luftströmung.

Wird die Luft in einem Raume, z. B. unter dem Recipienten der Luftpumpe absolut verdünnt, und zwar in solchem Grade, dass, wenn $\frac{m}{n}$ irgend einen echten Bruch vorstellt; innerhalb des Recipienten nur $\frac{m}{n}$ der Luftmasse wie in einem gleich grossen Raume ausserhalb desselben enthalten ist, so ist das specifische Gewicht und die Spannkraft dieser absolut verdünnten Luft auch nur $\frac{m}{n}$ der äusseren Luft; der Druck auf einen gewissen Theil des Recipienten, der specifische Druck, ist dann an der inneren Wand auch nur $\frac{m}{n}$ von dem an der äusseren Wand.

Dieser äussere Druck, unter Voraussetzung des ganzen Atmosphärendruckes, ist ebenso gross, als ob er von einer 10,333 Meter hohen Wasserschicht ausgeübt würde (§. 53), oder, da das Wasser im Zustande seiner grössten Dichte 773mal so schwer ist als ein gleiches Volumen Luft bei 0° unter dem Atmosphären-Drucke, von einer 10,333 . 773 = 7987 Meter hohen Luftschicht von der gleichmässigen normalen Dichte. Die äussere Druckhöhe H kann somit zu 7987 Meter angenommen werden. Wenn der Druck an der inneren Wand $\frac{m}{n}$ des äusseren ist, so kann man sich diesen Druck ebenfalls von einer 7987 Meter hohen Flüssigkeitsschicht, Luftschicht, ausgeübt denken, aber die Flüssigkeit, welcher diese Druckhöhe angehört, hat nur $\frac{m}{n}$ des specifischen Gewichts der äusseren Luft.

Ist eine Oeffnung in der Wand des Recipienten an irgend einer Stelle, oben, unten, oder an der Seite angebracht, so muss der äussere Ueberdruck das Eindringen der äusseren Luft in den Recipienten veranlassen. Um die Geschwindigkeit zu finden, mit welcher dieses Einströmen beginnt, kann man die Gleichung anwenden, welche in §. 24 und §. 25 für die Geschwindigkeit der Strömung einer Flüssigkeit in ein specifisch leichteres Medium entwickelt worden ist. Jene Gleichung war:

$$c = \sqrt{2\,g\,H\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}$$

wobei durch H die Druckhöhe, durch s das grössere specifische Gewicht, durch s_1 das geringere bezeichnet wurde. Somit ist nun, wenn die äussere Luft von der Temperatur 0° angenommen, und ihr specifisches Gewicht $s = 1$ gesetzt wird, $s_1 = \frac{m}{n}\,s = \frac{m}{n}\,.\,1 = \frac{m}{n}$ und man hat

$$c = \sqrt{2\,g\,.\,7987\left(1 - \frac{m}{n}\right)}$$

oder auch, wenn man vereinfacht und dabei berücksichtigt, dass $g =$ 9,81 Meter ist, wonach $\sqrt{2\,.\,9{,}81\,.\,7987} = 395{,}86$ oder 396 Meter wird,

$$c = 396\sqrt{1 - \frac{m}{n}}$$

Es sei z. B. nur $\frac{1}{10\,000}$ der Luftmasse aus dem Recipienten entfernt

worden; dann ist die zurückbleibende Luftmasse, sowie deren specifisches Gewicht ausgedrückt durch $\frac{m}{n} = s_1 = \frac{9999}{10000}$, und sonach ist

$$c = 396 \sqrt{\frac{1}{10000}} = 3{,}96 \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Bei dieser ganz unbedeutenden absoluten Luftverdünnung ist also die Geschwindigkeit des eindringenden Luftstroms schon ziemlich bemerkbar.

Ist die Luftmasse im Recipienten um die Hälfte vermindert, auf die Hälfte absolut verdünnt, so ist $\frac{m}{n} = \frac{1}{2}$ und

$$c = 396 \sqrt{\frac{1}{2}}$$
$$= 396 \,.\, 0{,}7071 = 280 \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Wurde die Luft im Recipienten in dem Grade verdünnt, dass nur noch $\frac{1}{1000}$ von der anfänglich ihn erfüllenden Luft vorhanden ist, so dass also auch ihr specifisches Gewicht $s_1 = \frac{m}{n} = \frac{1}{1000}$ geworden, so hat man

$$c = 396 \sqrt{\frac{999}{1000}} = 395{,}80 \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Ist endlich die Luft im Recipienten so sehr verdünnt, dass nur noch unendlich wenig Luft darin vorhanden ist, wobei dann dieser Raum luftleer genannt wird, so muss auch das specifische Gewicht der Luft im Recipienten als Null angenommen werden, und es wird $s_1 = \frac{m}{n} = 0$ und

$$c = 396 \sqrt{1 - 0} = 396 \text{ Meter} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (\mathrm{I}$$

in der Secunde.

Ist also ein Raum luftleer, und wird der äusseren Luft der Eintritt gestattet, so hat der Strom zunächst die ungeheure Geschwindigkeit, dass ein Lufttheilchen, mit derselben sich gleichförmig fortbewegend, in der Secunde einen Weg von 396 oder genauer 395,86 Meter zurücklegen würde. Die Zahl 396 ist der Werth für den Ausdruck $\sqrt{2\,g\,H}$, worin H die ganze Höhe der drückenden Luftsäule ist. Man

sieht daraus, dass **die Geschwindigkeit der Luftströmung bei 0° nach dem leeren Raume** keine andere ist, als die Geschwindigkeit, **die ein Körper erlangt hat, welcher von der ganzen Höhe der als gleich dicht angenommenen Atmosphäre, also 7987 Meter hoch herabgefallen wäre.**

Da in dem Raume, nach welchem die Strömung vor sich geht, während des Einfliessens selbst die Spannkraft und das specifische Gewicht der Luft beständig wachsen, so nimmt, wie die obigen Beispiele zeigen, die Geschwindigkeit auch beständig ab. Aber auch bei nur noch sehr geringer Verdünnung ist die Geschwindigkeit noch so bedeutend, dass der Raum selbst auch durch eine sehr kleine Oeffnung schnell von der äusseren Luft gefüllt ist.

Im Obigen ist die äussere Luft von der Temperatur 0° angenommen. Ist die Luft wärmer, so muss bei derselben Spannkraft und dem geringeren specifischen Gewichte die Druckhöhe, Atmosphärenhöhe grösser angenommen werden als 10,333 . 773 Meter.

Der Recipient sei z. B. wie im letzten Falle luftleer, und die äussere Luft sei, während sie sich unter dem Atmosphärendrucke ausdehnen konnte, auf 273° C. erhitzt worden. Bei dieser Temperatur ist das specifische Gewicht der Luft nur noch die Hälfte des specifischen Gewichts bei 0° (§. 65). Die Höhe der gleichmässig dicht angenommenen Atmosphäre wäre nun 10,333 . 773 . 2 Meter $= 2\,H$; denn der Druck, welchen auch die erhitzte Luft, da sie sich unter dem Atmosphärendrucke ausdehnen konnte, ausübt, ist gleich dem Drucke einer Wassersäule von 10,333 Meter Höhe; da aber das specifische Gewicht der auf 272,8° erhitzten Luft nur noch $\frac{1}{2\,.\,773}$ von dem des Wassers ist, so muss anstatt der Wassersäule eine Luftsäule von der Druckhöhe 10,333 . 2 . 773 oder $2\,H$ angenommen werden. Die Geschwindigkeit der mit der Spannung einer Atmosphäre und der Temperatur 0° in den leeren Raum einfliessenden Luft war $\sqrt{2\,g\,H}$; die jetzige Geschwindigkeit ist, da ausser der Druckhöhe sich Nichts ändert, $\sqrt{2\,g\,.\,2\,H}$; für die beiden Geschwindigkeiten hat man das Verhältniss:

$$\sqrt{1} : \sqrt{2} = 1 : 1{,}4142$$

Demnach ist nun die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft von 273° C. in den leeren Raum einströmt,

$$1{,}4142\,.\,396 = 560 \text{ Meter} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(II}$$

in der Secunde.

Es sei nun wieder der Recipient luftleer, die auf 273° C. erhitzte

Luft werde aber, ehe sie in den Recipienten einströmt, auf das Volumen zusammengepresst, welches sie bei 0° hatte; die Spannkraft ist auf diese Weise die doppelte geworden, während das specifische Gewicht noch $s = 1$ ist. Auch hier ist die Druckhöhe wieder $= 2\,H$ zu nehmen; denn die erhitzte Luft übt einen Druck aus, wie eine Wassersäule von 2 . 10,333 Meter Höhe und das specifische Gewicht dieser Luftsäule ist $\frac{1}{773}$ von dem des Wassers. Die Höhe der Luftsäule muss also bei gleichem specifischen Drucke 773 mal so gross sein als die Höhe der Wassersäule, oder es ist die Druckhöhe der Luftsäule $2 \,.\, 10{,}333 \,.\, 773 = 2\,H$. Die Geschwindigkeit wird sonach wieder

$$396\,\sqrt{2} = 560 \text{ Meter} \quad \ldots \ldots \quad \text{(III}$$

in der Secunde.

Die Erhöhung der Spannung der Luft auf zwei Atmosphären soll nun ohne Wärme, nämlich sogleich dadurch bewirkt worden sein, dass die Luft bei 0° auf das halbe Volumen comprimirt wurde. Dann ist die Druckhöhe nur $= H$ zu nehmen. Allerdings ist nun wieder der Druck durch eine Wassersäule von der Höhe 2 . 10,333 Meter auszudrücken, allein es ist durch die Compression auch das specifische Gewicht der kalten Luft das Doppelte des anfänglichen geworden und Wasser ist nur $\frac{773}{2}$ mal so schwer als diese comprimirte Luft. Somit wird die

$$\text{Druckhöhe} = \frac{2 \,.\, 10{,}333 \,.\, 773}{2} = 10{,}333 \,.\, 773 = 7987 \text{ Meter} = H,$$

wie früher, wo die Luft nur die Spannkraft einer Atmosphäre und das specifische Gewicht 1 hatte. Da nun $s = 2$ und $s_1 = 0$ ist, so hat man

$$c = \sqrt{2\,g\,H\left(1 - \frac{0}{2}\right)} = \sqrt{2\,g\,H}$$

$$c = 396 \text{ Meter} \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{(IV}$$

in der Secunde.

Das thermische Aequivalent der Compressionsarbeit ist unberücksichtigt gelassen; es ist jedesmal die hier zulässige Voraussetzung gemacht, dass die durch die Compressionsarbeit erzeugte Wärmemenge bereits wieder an die Umgebung übergegangen sei.

Es mögen nun noch zwei Fälle angenommen werden, wobei der Recipient nicht luftleer ist.

Die Luft in dem einen von zwei anstossenden Räumen habe die einfache Spannung unter dem Atmosphärendrucke, die Temperatur 0°, das specifische Gewicht $s_1 = 1$; die Luft in dem anderen Raume soll

ohne Mitwirkung von Wärme, nämlich durch Compression auf das halbe Volumen die doppelte Spannkraft erlangt haben; ihr specifisches Gewicht ist also $s = 2$. Die Druckhöhe der comprimirten Luft ist wie vorhin $= H$ anzunehmen, und ebensogross ist die Druckhöhe der Luftsäule vom specifischen Gewichte 1 auf der anderen Seite. Man hat somit

$$c = \sqrt{2\,g\,H\left(1 - \frac{1}{2}\right)} = 396\sqrt{\frac{1}{2}}$$

$$c = 396 \,.\, 0{,}7071 = 280 \text{ Meter} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (\text{V}$$

Nun soll endlich die Luft in dem letzteren Raume ohne Vermehrung ihres specifischen Gewichts die doppelte Spannkraft erhalten haben, indem ihr dieselbe Wärmemenge zugeführt worden ist, durch welche sie bei veränderlichem Volumen auf 272,8° C. erhitzt worden, auf den doppelten Raum ausgedehnt worden wäre, jedoch ohne Einrechnung der bei der Ausdehnung für äussere Arbeit aufzuwendenden Wärmemenge. Dann hat also diese Luft ebenfalls die Temperatur 272,8° C., aber die Spannkraft 2 Atmosphären.

Die Druckhöhe für diese erhitzte Luft von der Spannung zweier Atmosphären ist $2\,H$. Der Gegendruck der im anderen Raume enthaltenen Luft von einfacher Spannkraft und der Temperatur 0° kann ebenfalls durch eine Luftsäule von der Höhe $2\,H$ ausgedrückt werden, wenn man das der Höhe H entsprechende specifische Gewicht nur zur Hälfte nimmt.

Man hat sonach

$$c = \sqrt{2g \,.\, 2\,H\left(1 - \frac{1}{2}\right)}$$

$$c = \sqrt{2\,g\,H}$$

$$= \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 7987} = 396 \text{ Meter} \quad . \; . \; . \quad (\text{VI}$$

§. 76.

Vergleichende Betrachtung.

Durch Vergleichung der sechs letzten Beispiele, deren Resultate der Reihe nach bezeichnet sind, erkennt man Folgendes:

Die Geschwindigkeit ist unter diesen sechs Fällen in den zwei Fällen gleich und am grössten, wenn erhitzte Luft vom specifischen Gewichte $\frac{1}{2}$ und der Spannung einer Atmosphäre in den leeren Raum ein-

strömt (II); und wenn erhitzte Luft vom specifischen Gewicht 1 und der Spannkraft 2 Atmosphären in den leeren Raum strömt (III).

Die Geschwindigkeit ist kleiner, aber gleich in den drei Fällen: wenn die Luft von 0°, von der Spannkraft 1 Atmosphäre und dem specifischen Gewicht 1 in den leeren Raum einströmt (I); wenn Luft von 0°, welche durch Compression die Spannkraft 2 Atmosphären und das specifische Gewicht 2 erhalten hat, in den leeren Raum strömt (IV); wenn die durch Erhitzung bei constantem Volumen oder durch Compression in erhitztem Zustande auf die Spannkraft 2 Atmosphären gebrachte Luft vom specifischen Gewicht 1 in den mit Luft von 0° von der Spannung 1 Atmosphäre und dem specifischen Gewicht 1 gefüllten Raum einströmt (VI).

Am geringsten ist die Geschwindigkeit, wenn Luft von 0°, welche auf die Spannung 2 Atmosphären comprimirt worden ist, also vom specifischen Gewichte 2 in Luft von 0° von der Spannung 1 Atmosphäre und dem specifischen Gewicht 1 einfliesst (V).

Diese dreierlei Geschwindigkeiten verhalten sich wie

$$\sqrt{2} : \sqrt{1} : \sqrt{\frac{1}{2}}$$

oder 1,4 : 1 : 0,7

genauer 1,4142 : 1 : 0,7071

Stellt man für die dreierlei Geschwindigkeiten die Quotienten aus den wirksamen Druckkräften und dem specifischen Gewichte der strömenden Luft her, mit anderen Worten: dividirt man die Differenz der jedesmaligen Druckkräfte, den Ueberdruck, in Atmosphären ausgedrückt, durch das specifische Gewicht derjenigen Luft, welche in den anderen Raum überfliesst, so sind diese Quotienten den drei Geschwindigkeiten entsprechend, der Reihe nach

$$2;\ 1;\ \frac{1}{2}.$$

Wie man sieht, verhalten sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus diesen Quotienten. Man erkennt hieraus den Satz:

Die Geschwindigkeiten verhalten sich direct wie die Quadratwurzeln der resultirenden Druckkräfte, des Ueberdrucks, und umgekehrt wie die Quadratwurzeln der specifischen Gewichte der strömenden Luftmassen.

Die Zunahme des specifischen Gewichts, der Dichte, hat demnach auf die Geschwindigkeit einen nachtheiligen Einfluss; und dieses ist auch

leicht erklärlich, weil bei zunehmender Dichte die Luft weniger verschieblich wird, ihr Aggregatzustand sich mehr dem tropfbarflüssigen Aggregatzustande nähert.

§. 77.

Allgemeines über die Geschwindigkeit der Luftbewegung in Röhren und Kanälen.

Die Berechnung der theoretischen Geschwindigkeit in einer Röhre lässt sich immer auf einen der bereits behandelten Fälle zurückführen; denn es ist unter den wesentlich verschiedenen Verhältnissen die Geschwindigkeit der Luftströmung bei gegenseitiger Aufeinanderwirkung communicirender Luftmassen durch allgemeine Gleichungen dargestellt, und dabei ist es principiell gleichgültig, ob die communicirenden Luftmassen unmittelbar an Oeffnungen der Räume, oder mittels kurzer oder langer Röhren communiciren, und ob die Räume, Gefässe oder Röhren am Zuflussniveau ganz offen oder bis auf eine entsprechende Oeffnung geschlossen sind. Die theoretische Geschwindigkeit kann für die im Wesentlichen übereinstimmenden Fälle immer in derselben Weise berechnet werden; das heisst, die Geschwindigkeit wäre mit und ohne Anwendung von Röhren und Kanälen die gleiche, wenn nicht Bewegungswiderstände verschiedener Art vorhanden wären. Da aber solche vorhanden sind, so ist die wirkliche Geschwindigkeit in Röhren und Kanälen oft viel geringer.

Es ist desshalb nothwendig, mit Berücksichtigung der in der Wirklichkeit auftretenden Umstände weitere Gleichungen für die Geschwindigkeiten der bewegten Luft in Röhren und Kanälen aufzustellen, und zwar:

1) für die Geschwindigkeit der durch Temperaturdifferenz bewegten kalten und warmen Luft in Röhren und Kanälen;

2) für die Geschwindigkeit der durch mechanische Kräfte, durch Pressen und Saugen bewegten Luft in Röhren und Kanälen.

Wegen der besseren Uebersicht und interessanten Vergleichung der theoretischen und wirklichen Geschwindigkeiten, sowie auch aus dem Grunde, weil selbst für die Berechnung der theoretischen Geschwindigkeit bei Röhrenleitungen gewisse Umstände auftreten, die leicht übersehen werden, deren Berücksichtigung jedoch von Wichtigkeit ist, wird es zweckmässig sein, die normalen Fälle für die Luftbewegung in Röhren zunächst ohne Rücksicht auf die Widerstände zu behandeln.

§. 78.

Theoretische Geschwindigkeit der durch Temperaturdifferenz bewegten Luft in verticalen Röhren.

Man denke sich vom Fussboden eines mit kalter Luft gefüllten Raumes eine verticale Röhre in die wärmere Atmosphäre abwärts geführt, ferner von der Decke eines mit warmer Luft gefüllten Raumes eine verticale Röhre in die kältere Atmosphäre aufwärts geführt. Die Höhe und hier zugleich Länge der Röhre nebst der Druckhöhe des gedachten Raumes sei jedesmal H, die Temperaturen der kalten und warmen Luft seien t^0 und T^0 C.

Die Röhren werden vorläufig als durchaus gleich weit angenommen.

Für den Ausfluss der Luft durch einfache Oeffnungen aus den Räumen sind bereits die allgemeinen Gleichungen entwickelt, nämlich in §. 67 die theoretische Ausflussgeschwindigkeit der kälteren Luft in wärmere:

$$c = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+T}}$$

und die theoretische Ausflussgeschwindigkeit der wärmeren Luft in kältere

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}}$$

Dieselben Gleichungen gelten auch als theoretische Geschwindigkeitsgleichungen für den Durchfluss der kalten und warmen Luft durch Röhren und für den Ausfluss aus solchen, vorausgesetzt, dass in der Höhe H zwei communicirende Luftsäulen von den in der ganzen Höhe gleichmässigen Temperaturen T^0 und t^0 vorhanden sind oder als vorhanden angenommen werden können und der Luftzufluss beständig in reichlicher Menge stattfindet, dass also auch, wenn beide Gleichungen für den Zufluss und Abfluss in demselben Raume in Anwendung zu bringen sind, die Oeffnungen und Röhrenquerschnitte in dem richtigen Verhältnisse stehen, wie es in §. 70 erörtert worden ist.

Sind die Temperaturen in der ganzen Höhe einer Luftsäule, welche eine Drucksäule bildet, nicht gleich, ist z. B. die Temperatur des Raumes eine andere als die in der Röhre, oder sind die Temperaturen in der Röhre selbst verschieden, so ist für T und beziehungsweise t die Durchschnittstemperatur nach Massgabe der verschiedenen Höhen einzuführen und diese gerade so zu berechnen, als wenn (nach §. 54) die

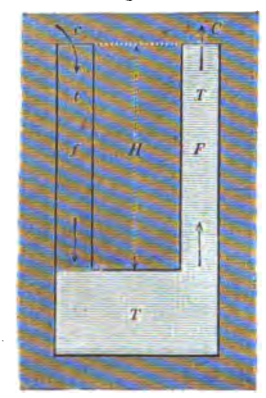
Mischungstemperatur verschieden warmer Luftmassen bei gegebenen Raumtheilen zu suchen wäre; dabei gilt anstatt des Verhältnisses der Raumtheile einfach das Verhältniss der Luftsäulenhöhen von ungleicher Temperatur.

§. 79.

Andere Ableitung der Geschwindigkeitsgleichungen.

Von der Decke eines Raumes, in welchem die Luft beständig auf der Temperatur T^0 C. erhalten wird, seien zwei cylindrische oder parallelepipedische Röhren von der gleichen Höhe H Meter in die kältere Atmosphäre emporgeführt (Fig. 69). Die äussere Luft habe die Temperatur t^0, ebenso die Luft in der Röhre vom Querschnitt f Quadratmeter, während die andere Röhre vom Querschnitt F Quadratmeter mit Luft von der Temperatur T^0 gleichwie der grössere Raum gefüllt ist.

Fig. 69.



Man erkennt leicht nach §. 70, dass die möglichst grossen Geschwindigkeiten beiderseits nur dann zu Stande kommen können, wenn die Querschnitte f und F in einem bestimmten Verhältnisse stehen, welches von den Temperaturen T und t abhängig ist. Das Vorhandensein des richtigen Verhältnisses werde hier vorausgesetzt. Die äussere kalte Luft wird mit irgend einer Geschwindigkeit c durch die eine Röhre herabfliessen, die innere warme Luft mit einer grösseren Geschwindigkeit C durch die andere Röhre emporfliessen.

Ursache der Luftbewegung in den Röhren ist der Ueberdruck der äusseren Luft. Indem dieser Ueberdruck die Luftsäule in Bewegung setzt und in Bewegung erhält, verrichtet er eine mechanische Arbeit, gleichwie die Kraft an einem Kolben.

Der Ueberdruck im ganzen System ist für die Flächeneinheit überall gleich. Ist das Gewicht von einem Cubikmeter der äusseren kalten Luft p Kilogramm, das Gewicht von einem Cubikmeter der inneren warmen Luft p_1 Kilogramm, so ist der Ueberdruck in jeder Röhre für die Flächeneinheit, hier für 1 Quadratmeter:

$$H\,(p - p_1) \text{ Kilogramm,}$$

folglich:

Ueberdruck

für die Fläche f Quadratmeter:	für die Fläche F Quadratmeter:
$f \,.\, H\,(p - p_1)$ Kilogramm.	$F \,.\, H\,(p - p_1)$ Kilogramm.

Arbeit des Ueberdrucks, während die Luftsäulen um die Wege c und C fortgedrückt werden:

$f \,.\, H\,(p - p_1)\; c$ Meter-Kilogr.	$F \,.\, H\,(p - p_1)\; C$ Meter-Kilogr.

Diese mechanische Arbeit erzeugt eine lebendige Kraft von gleichem Werthe; die lebendige Kraft äussert sich in der einfliessenden, durch irgend einen Querschnitt fliessenden und ausfliessenden Luftmenge, während der Ueberdruck auf den Weg c und beziehungsweise C hin wirksam ist.

Betrachtet man den Vorgang während einer Secunde, so ist die Geschwindigkeit c und C zugleich der Weg für eine Secunde.

Die Masse der in einer Secunde einfliessenden und ausfliessenden Luft ist die gleiche, wird aber hier auf zweifache Weise ausgedrückt:

für die kalte Luft:

$$M = \frac{P}{g} = \frac{f c p}{g}$$

für die warme Luft:

$$M = \frac{P}{g} = \frac{F C p_1}{g}$$

Die lebendige Kraft der Masse oder die äquivalente mechanische Arbeit der bewegten Luft:

$$\frac{M}{2}\, c^2 = \frac{P}{2g}\, c^2 = \frac{f c p}{2g}\, c^2 \qquad \Bigg| \qquad \frac{M}{2}\, C^2 = \frac{P}{2g}\, C^2 = \frac{F c p_1}{2g}\, C^2$$

Die äquivalenten Werthe: lebendige Kraft der bewegten Masse und mechanische Arbeit des Ueberdrucks bilden die Gleichungen:

$$\frac{f c p}{2g}\, c^2 = f\, H\,(p - p_1)\, c \qquad \Bigg| \qquad \frac{F c p_1}{2g}\, C^2 = F\, H\,(p - p_1)\, C$$

$$c^2 = \frac{H\,(p - p_1)\, 2\, g}{p} \qquad \Bigg| \qquad C^2 = \frac{H\,(p - p_1)\, 2\, g}{p_1}$$

$$c = \sqrt{\frac{2\, g\, H\,(p - p_1)}{p}} \qquad \Bigg| \qquad C = \sqrt{\frac{2\, g\, H\,(p - p_1)}{p_1}}$$

Mit Einführung der Temperaturen und des Luftgewichts ist

$p = \dfrac{1{,}293}{1 + a t}$ Kilogramm, und $p_1 = \dfrac{1{,}293}{1 + a T}$ Kilogramm,

also:

$$\frac{p-p_1}{p} = 1 - \frac{p_1}{p} = 1 - \frac{\frac{1,293}{1+aT}}{\frac{1,293}{1+at}} = 1 - \frac{1+at}{1+aT} = \frac{a(T-t)}{1+aT} = \frac{T-t}{\frac{1}{a}+T} = \frac{T-t}{273+T}$$

$$\frac{p-p_1}{p_1} = \frac{p}{p_1} - 1 = \frac{\frac{1,293}{1+at}}{\frac{1,293}{1-aT}} - 1 = \frac{1+aT}{1+at} - 1 = \frac{a(T-t)}{1+at} = \frac{T-t}{\frac{1}{a}+t} = \frac{T-t}{273+t}$$

Mithin durch Substitution:

$$c = \sqrt{\frac{2gH(T-t)}{273+T}} \qquad C = \sqrt{\frac{2gH(T-t)}{273+t}}$$

Diese Gleichungen der theoretischen Geschwindigkeiten sind genau dieselben, wie die früher entwickelten.

Gegen die vorstehende theoretische Entwickelung wird unter den gemachten Voraussetzungen Nichts einzuwenden sein.

Für die Anwendung auf einen der Figur 69 ähnlichen Fall der Wirklichkeit aber ist ausser den noch zu behandelnden Widerständen schon Folgendes zu berücksichtigen:

Die äussere kalte Luft wird durch keine der beiden Röhren herabfliessen, wenn der Raum nicht dicht genug geschlossen ist, an seinen Umgrenzungsflächen Oeffnungen hat, durch welche schon unten so viel kalte Luft eindringt, als durch die beiden Röhren empor gelangen kann.

Ist aber der Raum bis auf die Röhrenöffnungen dicht geschlossen, so kann das Herabfliessen mit der Geschwindigkeit c nur stattfinden, wenn andererseits mindestens der nach §. 70 berechenbare Querschnitt F vorhanden ist; grösser darf in dieser Hinsicht F sein. Ist F aber auch grösser, so fliesst durch die Röhre vom Querschnitt F doch nur so viel Luft empor, als durch die andere Röhre herabfliessen kann, die Geschwindigkeit der emporfliessenden Luft ist bei bedeutender Vergrösserung von F geringer, als sie nach der vorhandenen Druckdifferenz sein könnte.

Ist aber F kleiner als es das vorausgesetzte Verhältniss erfordert, so ist zwar in dieser Röhre die grösste Geschwindigkeit vorhanden, immerhin keine grössere als die theoretische, welche sich aus der Druck-

differenz ergiebt; aber die Geschwindigkeit in der Zuflussröhre ist nicht die der Druckdifferenz entsprechende.

Man kann also nicht immer aus der Lage, Weite und Höhe einer Röhre und aus der gegebenen Temperaturdifferenz der inneren und äusseren Luft geradezu auf die Richtung der Luftbewegung und auf die Geschwindigkeit schliessen.

Solche Umstände werden, wie die Erfahrung zeigt, häufig von Praktikern nicht, wie es sein sollte, berücksichtigt.

§. 80.

Theoretische Geschwindigkeit der durch Pressen oder Saugen bewegten Luft mit Rücksicht auf die Manometerhöhe.

Bei den Vorrichtungen, welche dazu dienen, gepresste oder absolut verdünnte Luft zum Zwecke der Luftbewegung wirken zu lassen, beurtheilt man den Wirkungsgrad gewöhnlich und zweckmässig nach der dem Ueberdruck entsprechenden Wassersäulenhöhe eines Manometers.

Die theoretische Geschwindigkeit, mit welcher Wasser unter dem Druck einer Wassersäule von der Höhe H Meter ausfliesst, ist

$$C = \sqrt{2gH} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81\, H}$$
$$C = 4{,}34 \sqrt{H} \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Eine Luftsäule, welche denselben Druck wie eine Wassersäule von H Meter Höhe ausübt, müsste in dem Verhältniss höher sein, wie sie specifisch leichter ist.

Dieses Verhältniss ist

$$\frac{1000}{1{,}293} = 773,$$

wenn man Luft von normaler Beschaffenheit voraussetzt.

Von der Aenderung dieses Verhältnisses durch Pressen und Saugen kann man hier absehen, weil die ausfliessende gepresste Luft sogleich die Dichte der äusseren annimmt und die in den Saugraum fliessende Luft unmittelbar vor der Einlaufmündung ebenfalls die Dichte der äusseren Luft hat.

Die Geschwindigkeit der durch den Ueberdruck einer H Meter hohen Wassersäule oder einer $773 \,.\, H$ Meter hohe Luftsäule bewegten Luft ist demnach:

$$C = \sqrt{2\,g\,H\,.\,773}$$

oder

$$C = 123{,}15\,\sqrt{H}\ \text{Meter}$$

in der Secunde.

Ist die veränderliche Dichtigkeit der Atmosphäre genauer zu berücksichtigen, so kann man sich einer der folgenden beiden Gleichungen bedienen, in welche man das jeweilige specifische oder absolute Gewicht der Luft einführt.

Allgemein ist

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H}{s}}\ \text{Meter}$$

in der Secunde, wobei s das specifische Gewicht der Luft bedeutet, auf Wasser als Einheit bezogen.

Ferner ist auch

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,.\,1000}{\gamma}}\ \text{Meter}$$

in der Secunde, wobei γ das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft in Kilogramm bedeutet und 1000 Kilogramm das Gewicht von 1 Cubikmeter Wasser ist.

Setzt man einen Barometerstand, eine Temperatur und relative Feuchtigkeit voraus, wobei die Luft specifisch leichter wird als die normale Luft, so wird unter gleichem Ueberdruck auch die Geschwindigkeit grösser und es entspricht unter gewöhnlichen Verhältnissen gut die Gleichung:

$$C = 125\,\sqrt{H}\ \text{Meter}$$

in der Secunde.

Will man die am Manometer gewöhnlich in Millimetern abgelesene Wassersäulenhöhe auch als Millimeter in die Gleichung einsetzen, was im Folgenden durch

h statt H

angedeutet sein mag, so ergiebt sich für die gewöhnlichen Verhältnisse eine äusserst bequeme Gleichung.

Für die mit Rücksicht auf Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit praktisch zulässige Annahme, dass 1 Cubikmeter der bewegten Luft $\frac{1}{800}$ so viel als 1 Cubikmeter Wasser wiegt, wird bei der Rechnung in Millimetern:

$$C = \sqrt{2\,.\,9{,}81\,.\,1000\,.\,800\,h}$$

oder

$$C = 3961{,}8\,\sqrt{h}\ \text{Millimeter.}$$

Der vorher angegebenen Gleichung $C = 125 \sqrt{h}$ Meter würde entsprechen

$$C = 3952,5 \sqrt{h} \text{ Millimeter.}$$

Das ist jedesmal nahezu

$$C = 4000 \sqrt{h} \text{ Millimeter.}$$

Hierfür kann man aber setzen:

$$C = 4 \sqrt{h} \text{ Meter}$$

in der Secunde, wobei die Wassersäulenhöhe h in Millimetern beizubehalten ist.

Welche Berechtigung der letztere sehr bequeme Ausdruck $4 \sqrt{h}$ hat, mag aus der genauen Berechnung eines der Wirklichkeit entnommenen Beispiels ersehen werden.

Gleichzeitig wurden aufgezeichnet:

Barometerstand 755,5 Millimeter,
Temperatur 17° C.,
Hygrometerstand 62 Procent,

demnach die Spannung des Wasserdampfs 8,9404 Millimeter.

Unter diesen Umständen berechnet sich mit Rücksicht auf §. 57 die secundliche Luftgeschwindigkeit unter dem Ueberdruck einer Wassersäule von h Millimeter Manometerhöhe als:

$$C = \sqrt{\frac{2 \,.\, 9,81 \,.\, 1000 \,.\, h\,(1 + 0,003665 \,.\, 17) \,.\, 760}{0,001293\,(755,5 - 0,3775 \,.\, 8,9404)}}$$

$$C = (4036 \sqrt{h}) \text{ Millimeter, oder}$$

$$C = (4,036 \sqrt{h}) \text{ Meter in der Secunde, wobei}$$

h in Millimetern zu setzen ist. Man sieht aus diesem Beispiele, wenn man das Resultat mit den sonst gebräuchlichen Werthen vergleicht, dass der Werth

$$C = 4 \sqrt{h} \text{ Meter}$$

in der Secunde zuweilen nicht ganz erreicht, zuweilen etwas überschritten wird, woraus dessen annähernde Richtigkeit für die meisten Fälle hervorgeht.

§. 81.

Widerstände der Luftleitungen im Allgemeinen. Ueberdruckhöhe, Widerstandshöhe, Geschwindigkeitshöhe.

Die Widerstände der Luftbewegung in Röhren und Kanälen sind theils zufällige, wechselnde, von gewissen Zuständen in der Atmosphäre

abhängige Widerstände, welche in den meisten Fällen durch passende Vorrichtungen, von denen später die Rede sein wird, sich beseitigen lassen; theils sind es solche Widerstände, welche von den Formen, Dimensionen und Materialien der Leitung abhängig sind, durch sorgfältige Anlage zum Theil vermieden, zum Theil aber nur bis auf einen gewissen geringen Werth herabgebracht werden können: die Widerstände und Wirkungsverluste durch Contraction an Mündungen, Krümmungen, Erweiterungen und Verengungen, dann hauptsächlich die Reibungswiderstände.

Fliesst durch eine verhältnissmässig kleine Oeffnung in einer dünnen Wand Luft aus einem Raum in einen andern, so drängen sich die Lufttheilchen vor ihrem Ausflusse an der Mündung zusammen, es entsteht eine Zusammenziehung des flüssigen Strahls, eine Contraction. Dieser Umstand ist dann die Veranlassung, dass die wirkliche Ausflussmenge geringer ist, als die nach der Differenz der wirksamen Druckkräfte, nach dem Ueberdruck, und nach dem Durchflussquerschnitt berechnete, welche man die theoretische Ausflussmenge nennt.

Die wirkliche Ausflussmenge beträgt, wenn nicht besonders geeignete Mündungsformen angewendet werden, nur ungefähr 60 bis 80 Procent der theoretischen Ausflussmenge, welche nach der theoretischen Geschwindigkeit und nach der Ausflussöffnung, bei kurzen Röhrenansätzen nach dem kleinsten Querschnitte dieser bestimmt wird. Bei längeren Röhrenleitungen tritt die Adhäsion und Reibung der Luft an den Röhrenwänden als bedeutendes Hinderniss der Bewegung auf.

Bei der Aufstellung von Gleichungen für die Berechnung der wirklichen Geschwindigkeit sind verschiedene Bezeichnungen von Höhentheilen der Luftsäulen zu unterscheiden, welche desshalb hier vorausgeschickt werden mögen.

Die Höhe einer Flüssigkeitsäule, welche mit dem Medium nicht im Gleichgewicht ist, nennt man, wie aus Früherem bekannt, Druckhöhe. Diese Druckhöhe kann zugleich Ueberdruckhöhe sein, z. B. beim Ausfliessen des Wassers aus einem Gefässe in den leeren Raum.

Bei einem Gefässe, welches sich selbst im leeren Raum befindet oder gegen den Atmosphärendruck nach allen Seiten, also auch oben, geschlossen ist, hat man als Druckhöhe und zugleich Ueberdruckhöhe einfach die Wasserhöhe, bei Einwirkung des Atmosphärendrucks auf die Wasseroberfläche die Summe aus dieser Wasserhöhe und einer den Atmosphärendruck repräsentirenden Wassersäule.

Diese Druckhöhe und Ueberdruckhöhe kann da zugleich Geschwindigkeitshöhe sein, wenn das Ausfliessen ohne merkliche

Contraction und Reibung geschieht, also eine Widerstandshöhe nicht vorhanden ist oder als verschwindend klein unberücksichtigt bleibt.

Bei Luftleitungen ist Ueberdruckhöhe diejenige Höhe, welche sich aus der Differenz der einander entgegen wirkenden Pressungen in den vorhandenen oder gedachten communicirenden Röhren ergiebt, und zwar durch eine Säule vom specifischen Gewichte der betrachteten bewegten Luftmasse ausgedrückt. Es ist dieselbe Höhe, welche in die Formel des freien Falles anstatt h einzusetzen ist, wenn man die theoretische Geschwindigkeit sucht.

Bei dem Ausfliessen kalter Luft in wärmere unter der Druckhöhe H Meter ist die

$$\text{Ueberdruckhöhe: } \frac{H\,(T - t)}{273 + T} \text{ Meter;}$$

bei dem Ausfliessen warmer Luft in kältere unter der Druckhöhe H Meter ist die

$$\text{Ueberdruckhöhe: } \frac{H\,(T - t)}{273 + t} \text{ Meter;}$$

bei der durch Pressen oder Saugen unter der Manometerhöhe H Meter hervorgebrachten Luftbewegung ist die

$$\text{Ueberdruckhöhe: } \frac{H}{s} \text{ Meter.}$$

Man nennt diese Ueberdruckhöhe wohl auch die theoretische Geschwindigkeitshöhe, was aber besser vermieden wird.

Als Geschwindigkeitshöhe ist diejenige Höhe zu bezeichnen, welche in dem Ausdrucke der wirklichen Geschwindigkeit dieser Geschwindigkeit zugehört, also, wenn v die wirkliche Geschwindigkeit ist und ihr allgemeiner Ausdruck

$$v = \sqrt{2\,g\,h},$$

so ist

$$h = \frac{v^2}{2\,g}$$

die Geschwindigkeitshöhe. Für diese Geschwindigkeitshöhe h ist oft ein vielgliedriger Ausdruck zu entwickeln. Die Geschwindigkeitshöhe ist nämlich um den Betrag der Widerstandshöhe geringer als die Ueberdruckhöhe.

Man denkt sich, von der Ueberdruckhöhe, nach welcher die theoretische Geschwindigkeit sich ergeben würde, sei ein gewisser Theil für die Ueberwindung der Widerstände in Anspruch genommen, und dieser Theil ist die Widerstandshöhe.

Da die unvermeidlichen Widerstände der Luftbewegung in Röhren und Kanälen hauptsächlich aus der Reibung entstehen, wird zuweilen nur dieser Verminderungsbetrag der Ueberdruckhöhe in Rechnung gezogen und als Widerstandshöhe bezeichnet, doch auch speciell Reibungshöhe genannt.

Bei einer Druckhöhe H sei h_1 die Ueberdruckhöhe und h_2 die Widerstandshöhe als Theil von jener.

Dann ist die der wirklichen Geschwindigkeit v entsprechende Geschwindigkeitshöhe

$$h = \frac{v^2}{2g},$$

folglich auch

$$\frac{v^2}{2g} = h_1 - h_2$$

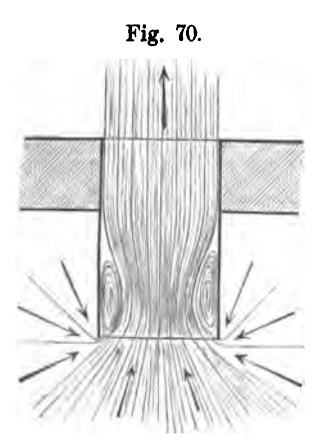
Es kann also die wirkliche Geschwindigkeit gefunden werden, wenn die Ueberdruckhöhe und Widerstandshöhe bekannt sind.

§. 82.

Contraction des Luftstroms und Verlust von lebendiger Kraft an Mündungen und Krümmungen der Röhren und Kanäle.

Wo Luft in eine Röhre fliesst (Fig. 70), da drängen sich die Lufttheilchen in der Nähe der Einmündung in Folge des daselbst herrschenden Ueberdrucks von allen Seiten gegen diese Mündung, und durch die seitliche Pressung vor der Mündung wird Contraction des Luftstroms am Röhrenanfang veranlasst.

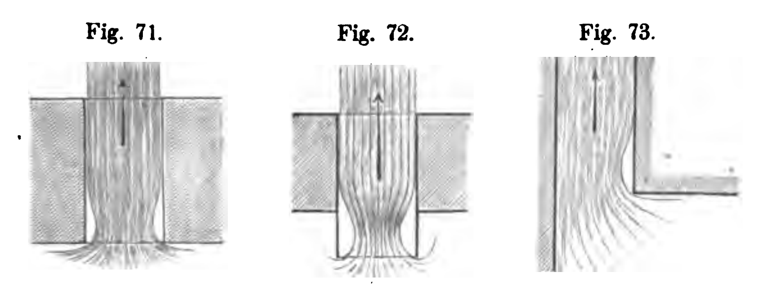
Fig. 70.



Diese Contraction nimmt zu mit dem Ueberdruck, also mit der Geschwindigkeit und ist bei engen Röhren verhältnissmässig grösser als bei weiten. Sie ist ferner etwas geringer, wenn sich die Röhre an eine Wand anschliesst (Fig. 71), als wenn die Röhre weiter in den Raum hineinragt (Fig. 72); noch geringer, wenn die Contraction nicht allseitig ist, wenn etwa eine Röhre von rechteckigem Querschnitt mit einer ihrer Wandungen in der Erweiterung einer Begrenzungsebene des Raumes liegt (Fig. 73). Die Contraction ist hiebei eine dreiseitige; sie kann eine nur zweiseitige

werden, wenn eine zweite Röhrenfläche in die Ebene des Fussbodens oder der Decke des Raumes gelegt ist.

Fig. 71. Fig. 72. Fig. 73.



In den meisten Fällen beginnen die Luftleitungsröhren stumpf an einer Wand oder Decke wie in Figur 71.

Bei Einströmungsgeschwindigkeiten und Röhrenweiten in den Grenzen der gewöhnlichen Anwendung schwankt der kleinste Durchmesser des contrahirten Stroms um 0,8 des Röhrendurchmessers, und diese stärkste Zusammenziehung findet statt in einer Entfernung, welche ungefähr der halben Röhrenweite gleich ist, hinter der Mündung, während die ganze Contractionslänge etwas grösser als die Röhrenweite ist.

Durch die Contraction entsteht eine Verminderung der Durchflussmenge im Verhältniss der Querschnittsverminderung, also bei der vollständigen Contraction, weil der kleinste Contractionsquerschnitt als der Mündung ähnlich angenommen werden kann, unter mittleren Verhältnissen eine Verminderung von 1^2 auf $0{,}8^2 = 1$ auf 0,64. Ueberdies entsteht eine, wenn auch nur geringe, Verminderung der theoretischen Geschwindigkeit noch für den engsten Querschnitt, weil die an der Contractionsstelle hervorgerufenen Luftwirbel lebendige Kraft absorbiren.

Diese Wirbel lassen sich leicht erkennen, wenn man hinter die Röhrenmündung kleine leichte Körper, etwa kleine Stückchen Seidenpapier, einlegt. Diese fliegen innerhalb einer Entfernung, welche ungefähr dem Röhrendurchmesser gleich ist, gegen die Mündung, also dem Strom entgegen, werden aber alsbald in diesen hineingezogen und von ihm fortgerissen.

Es ist wichtig, die Contraction zu vermeiden oder doch zu vermindern; dieses kann dadurch geschehen, dass man die Röhre an der Mündung erweitert und zwar in der Gestalt der vorderen Hälfte des contrahirten Stroms.

Aus obigen Angaben ergiebt sich folgende einfache Gestalt als eine zweckmässige (Fig. 74):

Ist d der Röhrendurchmesser, so zieht man in der Entfernung $\frac{1}{2}\,d$

hinter der gezeichneten Mündung eine Parallele mit der Mündungsebene und nimmt auf dieser Linie in der Entfernung d auf jeder Seite der Röhrenwand den Mittelpunkt für die kreisbogenförmige Abrundung, also für die gekrümmt konische Erweiterung an.

Diese erweiterte Mündung kann man ohne wesentlichen Nachtheil mit einigen Ziergliedern (Plättchen, Hohlkehle, Rundstab u. dgl.) umgeben (Fig. 75).

Fig. 74.

Fig. 75.

Contraction findet auch an solchen Stellen Statt, wo sich die Richtung des Luftstroms ändern muss und zwar am meisten bei plötzlicher und starker Richtungsänderung (Fig. 76), doch auch bei Anwendung eines stumpfen Winkels (Fig. 77) und sogar bei dessen kreisbogenförmiger Abrundung (Fig. 78).

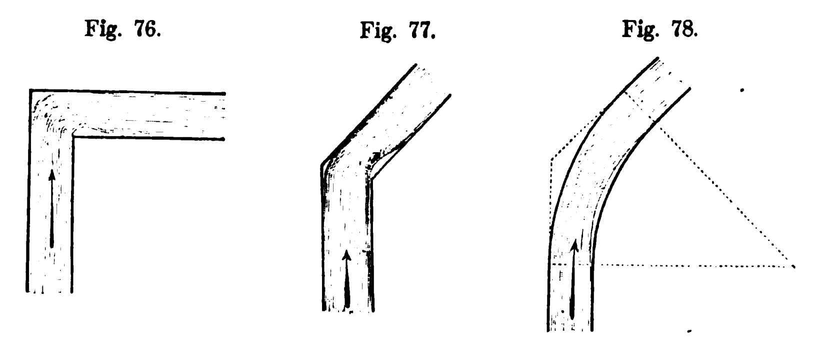


Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.

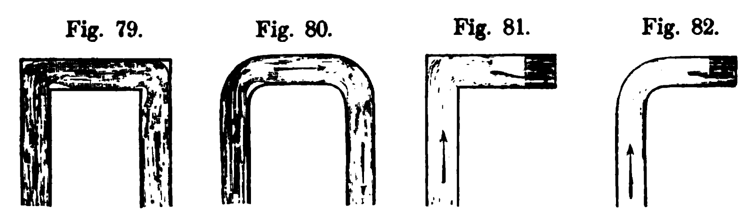
Bei solcher Abrundung ist die Contraction um so geringer, je grösser der Radius genommen wird.

Von Interesse ist folgende, angeblich der Erfahrung entnommene Mittheilung hervorragender Schriftsteller:

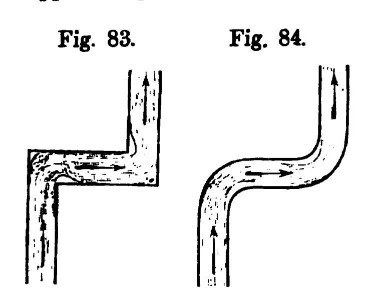
Folgen zwei Krümmungen in derselben Drehungsrichtung in kurzem Abstand auf einander (Fig. 79 und 80), so ist der Verlust nicht grösser, als bei einer einzigen dieser Krümmungen.

Liegen die Ebenen der beiden Krümmungen rechtwinkelig

gegen einander (Fig. 81 und 82), so ist der Verlust $1\frac{1}{2}$ mal so gross als bei nur einer Krümmung.


Fig. 79. Fig. 80. Fig. 81. Fig. 82.

Liegen die Krümmungen in einer Ebene, aber mit entgegengesetzter Drehungsrichtung (Fig. 83 und 84), so ist der Verlust doppelt so gross als bei einer einzigen Krümmung.


Fig. 83. Fig. 84.

Dieses kann natürlich nur für die Vergleichung ähnlicher, entweder nur eckiger oder nur abgerundeter Krümmungen von gleichen Winkeln gemeint sein.

Aus dem ersten der drei Fälle könnte man folgern, dass die Verminderung der Durchflussmenge nur der durch die Contraction entstehenden Querschnittsverminderung zuzuschreiben und der Verlust an lebendiger Kraft ohne praktische Bedeutung sei, weil die doppelte Wirbelbildung nicht nachtheiliger wäre als die einfache.

Die grössere Verminderung der Durchflussmenge in den beiden anderen Fällen sind aber durch die sich gleichmässig wiederholenden Querschnittsverminderungen des Stroms allein nicht zu erklären, man muss da Verluste an lebendiger Kraft annehmen.

An sicheren Grundlagen zur Berechnung dieser Einflüsse fehlt es noch; desshalb lässt sich die Richtigkeit oder Unrichtigkeit obiger Angaben nicht theoretisch untersuchen und nachweisen. Aber die darin liegenden Widersprüche liessen mich an der Richtigkeit zweifeln und veranlassten mich zu experimentellen Untersuchungen des Gegenstandes.

Ich liess mir eine Anzahl genau und dicht zusammenfügbarer gerader und knieförmiger Röhrenstücke von 9 Centimeter Durchmesser aus Messingblech anfertigen, womit ich eine gerade, oder einmal gekrümmte, oder zweimal nach beliebigen Richtungen gekrümmte Röhre, und zwar jedesmal von derselben Länge 1,50 Meter bilden kann. Ungefähr in der Mitte ist in einem festliegenden Röhrenstück ein kleiner Flügelventilator angebracht, welcher durch ein Räderwerk mit Gewichten ge-

trieben wird. Die Geschwindigkeit der einfliessenden oder ausfliessenden Luft wird durch ein Anemometer gemessen.

Unter gewissen Vorsichtsmassregeln, von welchen später die Rede sein wird, habe ich mit diesem Apparate über den vorliegenden Gegenstand eine Reihe von Versuchen gemacht, von welchen ich hier drei mit ziemlich verschiedenen Geschwindigkeiten folgen lasse. Die Krümmungen waren jedesmal scharf rechtwinkelig, folglich die Verluste weit grösser, als sie bei Abrundung sein würden.

Röhrenformen.		Versuche		
		No. 1.	No. 2.	No. 3.
		Secundliche Geschwindigkeiten.		
Gerade Röhre	———	1,90 m	2,90 m	3,40 m
Mit einmaliger Krümmung	┌‾	1,78 „	2,80 „	3,15 „
Mit zweimaliger Krümmung von gleicher Drehungsrichtung	┌┐	1,72 „	2,75 „	3,05 „
Mit zweimaliger Krümmung in gegenseitig rechtwinkeligen Ebenen	┌˙	1,67 „	2,65 „	3,00 „
Mit zweimaliger Krümmung von entgegengesetzter Drehungsrichtung	┌┘	1,60 „	2,50 „	2,90 „

Obwohl ich aus diesen und vielen andern Versuchen keine so bestimmte Gesetzmässigkeit erkenne, dass eine mathematische Formel danach construirt werden könnte, so ist doch daraus so viel ersichtlich:

Zweimalige Krümmung vermindert immer die Geschwindigkeit bedeutender als einmalige, nach welcher Drehungsrichtung auch die Krümmungen liegen mögen; doch ist bei zweimaliger Krümmung der Geschwindigkeitsverlust um so grösser, je mehr die beiden Drehungsrichtungen von einander abweichen.

Bei der vorher mitgetheilten Angabe anderer Autoren ist geringer Abstand der Krümmungsstellen bei der zweimaligen Krümmung von gleicher Drehungsrichtung vorausgesetzt. Da mir der Einwurf gemacht werden könnte, dass ich jene Bedingung nicht erfüllt hätte, mag beigefügt werden, dass bei den Röhrenstücken von 9 Centimeter Weite die inneren Ecken der Kniestücke nur 10 Centimeter von einander entfernt waren, was gewiss ein verhältnissmässig kleiner Abstand ist.

Auf die absoluten Zahlenwerthe soll hier nicht weiter eingegangen werden, weil man Krümmungen überhaupt von der Anwendung möglichst ausschliessen und die unvermeidlichen mit grossen Halbmessern abrunden soll, wobei die Geschwindigkeitsverluste sehr gering werden.

Aehnliche Unregelmässigkeiten und folglich Verluste an lebendiger Kraft, wie bei den Mündungen und Krümmungen finden statt an erweiterten und verengten Stellen, namentlich wenn der Uebergang zu solchen kein allmählicher ist. Man hat also auch solche Unregelmässigkeiten in der Ausführung zu vermeiden.

Es ist leicht begreiflich, dass in einer Luftmasse, welche einmal eine gewisse Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit angenommen hat und dann gezwungen wird, rasch ihre Richtung oder Geschwindigkeit zu ändern, die Wirkung der Inertie, anstatt vortheilhaft, nachtheilig wird, dass dadurch die Regelmässigkeit der Luftströmung gestört, die Geschwindigkeit weiter geschwächt, die Durchflussmenge vermindert werden muss.

An den Ausflussmündungen der Röhren mit parallelen Wänden findet eine Contraction nicht statt. (Vgl. Fig. 70, 71, 72.)

Dieses mag nur desshalb hier beigefügt sein, weil mehrfach als zweckmässig bezeichnet worden ist, auch die Ausflussmündungen an Röhren und Kanälen „der Contraction wegen“ conisch zu erweitern. Solche Erweiterung ist aus anderen Gründen zuweilen zu empfehlen, wie weiterhin zur Sprache kommen wird.

§. 83.

Wirkliche Geschwindigkeit der durch Röhren und Kanäle geleiteten Luft. Reibungswiderstand.

Contractionsverluste sollen im Folgenden nicht vorhanden, beziehungsweise durch passende Mündungsformen und flache Abrundungen auf so geringes Mass reducirt angenommen werden, dass sie unberücksichtigt bleiben können und hier nur der Reibungswiderstand mit Einschluss der Adhäsion zur Betrachtung gelangt.

Der Reibungswiderstand einer Flüssigkeit an den Röhrenwänden ist nicht analog dem Reibungswiderstande zwischen festen Körpern aufzufassen, wo er unabhängig von der Grösse der Berührungsflächen und von der Geschwindigkeit berechnet wird.

Man hat sich jetzt einen Widerstand vorzustellen, welcher theils von der Adhäsion der Flüssigkeit an den Röhrenwänden, theils von der Cohä-

sion der flüssigen Theilchen unter sich herrührt. Desshalb ist sowohl die Grösse der berührten festen Fläche, als auch das Verhältniss dieser zum Röhrenquerschnitt und ferner die Geschwindigkeit von Einfluss auf die Grösse des Reibungswiderstandes von Flüssigkeiten an Röhrenwänden.

Um von der einfachsten Anschauung auszugehen, denke man sich zunächst eine verticale, parallelepipedische oder cylindrische, mit warmer Luft gefüllte und längere Zeit durch reichlichen Zufluss ebenso gefüllt erhaltene, mit der äusseren kälteren Luft oben und unten communicirende Röhre von der Höhe H.

Die warme Luftsäule müsste, wenn kein Hinderniss vorhanden wäre, mit der Geschwindigkeit emporgehoben werden:

$$C = \sqrt{2\,g\,.\,H\,.\,\frac{T - t}{273 + t}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(I}$$

Darin hat die kurz mit h_1 zu bezeichnende, der theoretischen Geschwindigkeit C zugehörige Geschwindigkeitshöhe, besser hier Ueberdruckhöhe genannt, den Werth:

$$h_1 = H\,.\,\frac{T - t}{273 + t} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(II}$$

so dass man auch schreiben kann:

$$C = \sqrt{2\,g\,h_1}.$$

Die Geschwindigkeit C wird aber in Folge der Reibung nicht erreicht, sondern die mit V zu bezeichnende geringere, welcher in dem Ausdrucke der Geschwindigkeit dann auch eine kleinere Geschwindigkeitshöhe, allgemein durch $(h_1 - h_2)$ bezeichnet, entsprechen muss, wodurch man erhält:

$$V^2 = 2\,g\,(h_1 - h_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(III}$$

Es ist nun die Grösse h_2 zu bestimmen, und zwar mit Einführung des Reibungswiderstandes.

Den Widerstand, welchen die Reibung verursacht, kann man sich gleichwerthig denken mit einer durch ihr Gewicht der gewünschten Bewegung hinderlichen Luftsäule, welche dasselbe specifische Gewicht hat wie die bewegte Luftsäule von der Ueberdruckhöhe h_1, aber nur die kleinere unbekannte Höhe h_2.

Diese Höhe der die Grösse des Reibungswiderstandes repräsentirenden Luftsäule heisst Widerstandshöhe.

Die Widerstandshöhe h_2 soll jetzt durch die Factoren des Reibungswiderstandes ausgedrückt werden.

Während die Luftsäule in der Röhre durch den äusseren Ueberdruck emporgehoben wird, tritt die Adhäsion und Reibung der Lufttheilchen an der Röhrenwandung hemmend auf, und dieser Widerstand

muss um so gösser sein, je mehr Lufttheilchen die Wandung berühren, je grösser also, wenn man vorläufig nur die Lufttheilchen in irgend einem Querschnitte betrachtet, dieses Querschnittes Umfang ist, also der berührte Umfang, bei wasserförmigen Flüssigkeiten der benetzte Umfang genannt.

Die hemmende Anziehung wirkt aber nicht nur auf die die Wandung berührenden Lufttheilchen, sondern auch auf die weiter nach innen liegenden, nimmt jedoch gegen die Röhrenaxe hin beständig ab, bewirkt also bei grosser Fläche des Querschnittes ein geringeres Hinderniss als bei kleinerer Fläche desselben.

Mit Bezug hierauf kann man sagen: Der Widerstand ist direct proportional dem Umfange des lichten Querschnitts und umgekehrt proportional der Fläche des lichten Querschnitts.

Man sieht ferner leicht ein, dass der Widerstand auch der Länge der Röhre direct proportional sein muss; denn was in Bezug auf Adhäsion und Reibung für die Lufttheilchen in irgend einem Querschnitte oder in einer sehr dünnen Schicht gilt, das muss auch für die Summe sämmtlicher Schichten gelten, welche die Höhe der Röhre ausmachen.

Die gleichen Schlüsse müssen auch Geltung behalten, wenn die Röhre nicht vollständig vertical, sondern gebogen oder ganz oder theilweise schräg ist, wenn also die Röhrenlänge L nicht gleich der Röhrenhöhe H ist.

Noch ist der Einfluss der Geschwindigkeit selbst auf die Grösse der Reibung zu untersuchen. Man pflegt von diesem Einflusse sich folgende Vorstellung zu machen, die jedoch angreifbar ist und ihre Entstehung wohl nur der vorausgegangenen Ermittelung durch Versuche zu verdanken hat. Wenn die Geschwindigkeit doppelt so gross wird, so müssen in der Zeiteinheit nicht nur doppelt so viele adhärirende Lufttheilchen von der Wandung losgerissen, sondern auch mit der doppelten Geschwindigkeit fortgestossen werden; dazu ist eine im quadratischen Verhältnisse wachsende Kraft nothwendig.

Der Widerstand ist also auch dem Quadrate der Geschwindigkeit proportional anzunehmen. Endlich muss der Widerstand noch mit der Grösse des Reibungcoëfficienten wachsen, von welchem der nächste Paragraph handelt.

Den Einfluss der verschiedenen Röhrendimensionen und der Geschwindigkeit auf den Widerstand kann man sich auch in folgender Weise vorstellen.

Für eine gewisse Menge von Lufttheilchen geht in der Röhre durch Adhäsion und Reibung beständig lebendige Kraft verloren. Die Menge dieser Lufttheilchen sei durch die Masse M ausgedrückt. Dann ist die ihnen von neuem zu ertheilende lebendige Kraft, damit sie sich mit der wirklichen Geschwindigkeit V fortbewegen:

$$\frac{M}{2} V^2 \text{ oder } \frac{P}{2g} V^2$$

Hierfür ist gleich grosse mechanische Arbeit aufzuwenden. Das nothwendige Wachsen des Widerstandes mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit geht daraus unmittelbar hervor. Es wächst aber auch die Masse M oder die Gewichtsmenge P der Lufttheilchen, welche lebendige Kraft verlieren, mit der Länge der Röhre, und mit dem Verhältnisse des Umfangs zur Fläche des Querschnitts.

Um das Gesagte in eine mathematische Formel einzukleiden, sei L die Länge des Weges, welchen der Luftstrom von der unteren bis zur oberen Mündung der Röhre zu machen hat, die Röhre mag vertical oder schief, gerade oder gekrümmt sein; ferner sei U der Umfang des lichten Querschnitts, an allen Stellen der Röhre vorläufig als gleich vorausgesetzt, F die Fläche des Querschnitts und, wie bereits oben, V die wirkliche Geschwindigkeit der Luftbewegung.

Nun wächst der Widerstand gegen die Luftbewegung, also auch die entsprechende Widerstandshöhe h_2 mit den Werthen L, $\frac{U}{F}$ und V^2; und wenn man mit k einen aus der Erfahrung genommenen Coëfficienten bezeichnet, kann man setzen:

$$h_2 = \frac{k \,.\, L \,.\, U \,.\, V^2}{F} \quad \ldots\ldots \quad \text{(IV}$$

Substituirt man diesen Werth der Widerstandshöhe in Gleichung III, nämlich in

$$V^2 = 2g\,(h_1 - h_2)$$

und führt man zugleich wieder den Werth der Ueberdruckhöhe h_1 aus Gleichung II ein, so erhält man:

$$V^2 = 2g\left(\frac{H\,(T-t)}{273+t} - \frac{k\,L\,U\,V^2}{F}\right)$$

$$V^2 = \frac{2g\,H\,(T-t)}{273+t} - \frac{2g\,k\,L\,U\,V^2}{F} \quad \ldots \quad \text{(V}$$

In der weiteren Entwickelung kann zur Abkürzung gesetzt werden

$$2gk = K;$$

dann ergiebt sich weiter

$$V^2\left(1+\frac{KLU}{F}\right)=\frac{2gH(T-t)}{273+t}$$

$$V=\sqrt{\frac{2gH(T-t)}{273+t}}:\sqrt{1+\frac{KLU}{F}} \quad . \ . \ \text{(VI}$$

Dieses ist die vollständige allgemeine Gleichung für die Berechnung der wirklichen Geschwindigkeit warmer Luft in einer überall gleich weiten Röhre.

Besteht die Luftleitung aus mehreren Theilen von verschiedenen Formen oder Dimensionen des Querschnitts, und sind:

die berührten Umfänge U, U_1, U_2, . . .
die Querschnittsfläche F, F_1, F_2, ...
die Längen L, L_1, L_2, ...
die zugehörigen Geschwindigkeiten V, V_1, V_2 . . . .,

so wird aus Gleichung V die folgende:

$$V^2=\frac{2gH(T-t)}{273+t}-\frac{KLUV^2}{F}-\frac{KL_1U_1V_1^2}{F_1}-\frac{KL_2U_2V_2^2}{F_2}-\ldots \quad \text{(VII}$$

und wenn V_1 und V_2 in bekannten Relationen zu V stehen, wenn also allgemein

$$V_1=\frac{m}{n}V \text{ und } V_2=\frac{o}{p}V \text{ ist,}$$

so wird:

$$V^2=\frac{2gH(T-t)}{273+t}-\frac{KLUV^2}{F}-\frac{KL_1U_1mV^2}{nF_1}-\frac{KL_2U_2oV^2}{pF_2}-\ldots$$

$$V^2\left(1+\frac{KLU}{F}+\frac{KL_1U_1m}{nF_1}+\frac{KL_2U_2o}{pF_2}\right)=\frac{2gH(T-t)}{273+t}$$

$$V=\sqrt{\frac{2gH(T-t)}{273+t}}:\sqrt{1+\frac{KLU}{F}+\frac{KL_1U_1m}{nF_1}+\frac{KL_1U_1o}{pF_2}} \quad \text{(VIII}$$

Wenn aber V_2 in Gleichung VII eine **bekannte** Grösse oder eine **nicht als Theil oder Vielfaches von V ausdrückbare** Grösse ist, wird:

$$V^2\left(1+\frac{KLU}{F}+\frac{KL_1U_1m}{nF_1}\right)=\frac{2gH(T-t)}{273+t}-\frac{KL_2U_2V_2^2}{F_2}$$

$$V=\sqrt{\frac{2gH(T-t)}{273+t}-\frac{KL_2U_2V_2^2}{F_2}}:\sqrt{1+\frac{KLU}{F}+\frac{KL_1U_1m}{nF_1}} \quad \text{(IX}$$

In analoger Weise lassen sich die verschiedensten Beziehungen zwischen Querschnitten und Geschwindigkeiten in die Rechnung einführen; wobei je nach Umständen die Formeln complicirter oder einfacher werden.

So kann der zweite Quotient in Gleichung V, nämlich

$$\frac{K\,L\,U\,V^2}{F}$$

kürzer geschrieben und sehr leicht berechnet werden, wenn der Röhrenquerschnitt quadratisch oder kreisförmig ist.

Für quadratischen Querschnitt von der normalen (nicht diagonalen) Weite D, welche der Quadratseite gleich ist, gilt

$$\frac{U}{F} = \frac{4\,D}{D^2} = \frac{4}{D}$$

Ebenso für kreisförmigen Querschnitt:

$$\frac{U}{F} = \frac{D\,\pi}{\frac{1}{4}\,D^2\,\pi} = \frac{4}{D}$$

Durch Einsetzung dieses Quotienten in Gleichung VI erhält man als die am häufigsten vorkommende Gleichung:

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}} : \sqrt{1+\frac{K\,L\,.\,4}{D}}$$

und man kann weiter umformen:

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}} : \sqrt{\frac{D+4\,K\,L}{D}}$$

oder

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)\,.\,D}{(273+t)\,(D+4\,K\,L)}} \quad \ldots\ldots \text{(X}$$

oder auch:

$$V = C : \sqrt{\frac{D+4\,K\,L}{D}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(XI}$$

worin C die theoretische Geschwindigkeit bedeutet.

Da $4\,K$ eine bestimmte Zahl ist, kann man dafür auch K_1 setzen, also:

$$V = C : \sqrt{\frac{D+K_1\,L}{D}} \quad \ldots\ldots \text{(XII}$$

Ganz dieselben Entwickelungen gelten für das Abwärtsfliessen kalter Luft in Röhren, nur ist dann in dem Ausdruck der Ueberdruckhöhe:

$$(273+T) \text{ statt } (273+t)$$

zu setzen, also statt Gleichung X:

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)\,D}{(273+T)\,(D+4\,K\,L)}} \quad \ldots\ldots \text{(XIII}$$

Ebenso sind die obigen Entwickelungen für die Geschwindigkeit der durch Pressen und Saugen bewegten Luft gültig, wenn man die entsprechende Ueberdruckhöhe einsetzt, nämlich:

$$\text{anstatt } \frac{H\,(T-t)}{273+t} \text{ die Ueberdruckhöhe } \frac{H}{s}$$

worin mit H in Metern die Wassersäulenhöhe des Manometers und mit s das specifische Gewicht der Luft, je nach ihrer Dichtigkeit bezeichnet ist; oder auch

$$\text{die Ueberdruckhöhe } \frac{1000\ H}{\gamma},$$

wenn γ das absolute Gewicht von einem Cubikmeter der bewegten Luft ist.

Dadurch ergeben sich statt Gleichung X die beiden folgenden:

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,.\,D}{s\,(D + 4\,K\,L)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(XIV}$$

oder

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,.\,1000\,.\,D}{\gamma\,(D + 4\,K\,L)}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(XV}$$

Man kann auch für jede der drei letzten Gleichungen die Gleichung XII setzen, nämlich

$$V = C : \sqrt{\frac{D + K_1\,L}{D}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(XVI}$$

wenn C die für den betreffenden Fall geltende theoretische Geschwindigkeit bedeutet.

Diese letzte Gleichung XVI ist demnach auch in kürzester Form die allgemeine Gleichung der wirklichen Geschwindigkeit der Luftbewegung in Röhren und Kanälen von gleichmässig quadratischem oder kreisförmigem Querschnitt, vorausgesetzt jedoch, dass die Contraction unberücksichtigt bleiben darf.

§. 84.

Der Reibungscoëfficient bei Luftleitungen.

Der Reibungscoëfficient K, welcher nicht anders als durch Versuche bestimmbar ist, soll nach einigen Experimentatoren für sehr verschiedene tropfbare und elastische Flüssigkeiten als gleich und constant anzunehmen sein, nach anderen selbst für dieselbe Flüssigkeit nach deren Temperatur und Geschwindigkeit veränderlich. Seine Grösse hängt ohne Zweifel von der Beschaffenheit der Flüssigkeit ab und mehr noch von der Beschaffenheit der Röhrenwandungen. Da es aber an zuverlässigen Angaben über die Grösse des Einflusses solcher Verschiedenheiten fehlt, so muss man sich mit einem Mittelwerthe begnügen.

Bei Vergleichung der Coëfficienten in verschiedenen Schriften ist vor Allem darauf zu achten, in welcher Verbindung mit anderen Grössen

der Coëfficient vorkommt; denn es wird mit k oder K bezeichnet, was in §. 83 zuerst als k, dann als $2gk = K$ und als $4K = K_1$ gesetzt ist.

In der neuesten, 4. Auflage des Péclet'schen Werkes (Traité de la chaleur, Paris 1878) ist der Reibungscoëfficient als 0,024 angenommen, und zwar z. B. in Band I. auf Seite 205 in einer Gleichung, welehe bei Einführung der in §. 83 gewählten Bezeichnungen die folgende ist.

$$V = C \,.\, \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{K_1 L}{D}}}$$

Diese Gleichung ist identisch mit Gleichung XII oder XVI in §. 83, nämlich mit

$$V = C : \sqrt{\frac{D + K_1 L}{D}}$$

Der Coëfficient 0,024 in solcher Verbindung stimmt auch mit den Mittelwerthen nach d'Aubuisson, Buff, Pecqueur überein und ist ebenso von Weisbach angenommen.

Es sind also bei Anwendung der Gleichungen §. 83 folgende Werthe zu benützen:

$$K_1 = 0{,}024,$$
$$\text{ebenso } 4K = 0{,}024,$$
$$\text{folglich } K = 0{,}006$$
$$\text{und } 2gk = 0{,}006$$

Der eigentliche, ursprünglich gesetzte Reibungscoëfficient k in den Gleichungen IV und V wäre demnach

$$k = \frac{0{,}006}{2g} = \frac{0{,}006}{2 \,.\, 9{,}81}$$
$$k = 0{,}0003058.$$

Es ist jedoch unnöthig, diesen letzten Werth zu beachten, da er in den Berechnungen nur in Verbindung mit $2g$, also in

$$2gk = K = 0{,}006$$
$$\text{und } 4K = K_1 = 0{,}024$$

vorkommt. Um Verwechselungen vorzubeugen, dürfte es sich empfehlen, K_1 immer durch $4K$ zu ersetzen, um in den anzuwendenden Formeln nur

$$K = 0{,}006$$

als einen leicht zu behaltenden Coëfficienten zu benützen.

Ich will nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, dass ich, auf Grund älterer Angaben von Péclet und Anderen in meinen früheren Publicationen und noch in der von mir redigirten „Staebe's Preisschrift über Ventilationssysteme" (1878) für den Coëfficienten

k als Factor von $2g$ den Werth 0,0006 angenommen habe, welcher gegen den hier angenommenen

$$k = 0{,}000\,305\,6$$

fast doppelt so gross ist.

Péclet hatte in Folge ungenauer Experimente noch grössere Werthe gefunden und solche in früheren Auflagen seines Werkes benützt.

Indessen ist die Vorberechnung mit den grösseren Coëfficienten keineswegs ein schlimmer Irrthum; vielmehr liegt darin eine grössere Sicherheit für das Gelingen einer Anlage; man rechnet bei Anwendung eines doppelt so grossen Reibungscoëfficienten gewissermassen mit doppelter Sicherheit, gleichwie man ja bei Bauconstructionen die Festigkeitscoëfficienten mit 4- bis 10-facher Sicherheit einführt.

Aus diesem Grunde bin ich fast geneigt, auch ferner für praktische Anwendungen die grösseren Coëfficienten vorzuziehen, namentlich wo man von gehörig glatter Ausführung der Wandungen von Röhren und Kanälen nicht überzeugt sein kann, auch etwa sonst noch vorkommende Verluste an Querschnitt und lebendiger Kraft nicht besonders in Rechnung zieht.

§. 85.

Von den Luftströmungen in der Atmosphäre.

Einige Mittheilungen über die Luftbewegungen ausserhalb unserer Wohnungen und selbst fern von diesen, in der grossen freien Natur, dürften hier am Platze sein, weil die Luftbewegungen in unseren abgeschlossenen Räumen eine analoge Anschauung zulassen, und weil auch jene äusseren Strömungen von grossem Einfluss auf unsere Feuerungs- und Lüftungsanlagen sind.

Die Luftbewegungen entstehen immer durch Störung des Gleichgewichts, in der Atmosphäre ebenso wie in engen Räumen. Die Luftsphäre ist ein der Erde angehörender elastisch flüssiger Körper, welcher sich fortwährend mit der Erde um die Erdaxe bewegt; diese Bewegung geschieht, wie bereits in §. 2 erwähnt ist, mit einer Geschwindigkeit, gegen welche selbst jene eines Orkans ausserordentlich klein ist. Aus der Rotationsbewegung der Erde kann demnach die Entstehung des Windes nicht erklärt werden.

Hätte bei gleichmässiger Zusammensetzung die Atmosphäre überall gleiche Höhe und gleiche Temperatur, wäre somit das specifische Gewicht der Luft an beliebigen Stellen zwischen zwei naheliegenden Hori-

zontalflächen gleich gross, in den höheren Schichten aber nirgends grösser, sondern der Abnahme des Druckes entsprechend selbst nach oben abnehmend, so könnte keine Bewegung der Luft auf der Erde wahrgenommen werden, wie wir auch die Bewegung eines festen Gegenstandes auf der Erde nicht wahrnehmen, der sich doch auch in 24 Stunden um die Erdaxe bewegt.

Die eigentliche Ursache der Luftbewegungen, die wir im Allgemeinen Winde nennen, des leisesten Lüftchens sowohl, wie der riesigen Strömung eines Orkans ist die Wärme. Die Vermehrung oder Verminderung der Wärme an irgend einer Stelle stört das Gleichgewicht in der Atmosphäre durch Veränderung der Spannkraft und des specifischen Gewichts der Luft, ferner auch indirect durch die Veränderung der Feuchtigkeitscapacität.

Wird an irgend einem Orte die Luft mehr erwärmt, als in der Umgebung, so wird durch die Wärmeaufnahme zunächst die Spannkraft jener Luftmasse erhöht. Die unmittelbare Folge davon ist, dass sich die Luftmasse ausdehnen muss, und zwar nach allen Seiten hin; denn die ursprüngliche Spannkraft der Luft vor der Erwärmung ist unten, unter dem grösseren Luftdrucke grösser als oben. Dasselbe ist auch noch während und nach der Erwärmung der Fall; bei gleichmässiger Erhöhung der Temperatur wächst auch die Spannkraft im gleichen Verhältniss. Die ganze erwärmte Luftmasse überwindet ebensogut den Seitendruck, wie den verticalen Druck, sie dehnt sich nach allen Richtungen hin aus. In Folge dieser Ausdehnung muss also zuerst die Luft der Umgebung zurückgedrängt werden. Zugleich ist aber die erwärmte Luftmasse während der Ausdehnung relativ dünner, specifisch leichter geworden. Die wärmere Luft wird nun in irgend einer Höhe von oben und folglich nach den Seiten von der Mitte aus nicht so sehr gepresst, wie in der entgegengesetzten Richtung von Seite der kälteren Luft. Dieser von aussen gegen die warme Luftmasse gerichtete Seitendruck pflanzt sich vertical aufwärts und abwärts fort; die Differenz der seitlichen wie der verticalen Drücke wächst gegen die unterste Schicht der warmen Luftmasse hin. Diese Differenz ist sohin an der untersten Schicht der warmen Luft am grössten, vermöge des überwiegenden Druckes fliesst die kalte Luft von der Seite unter die wärmere, hebt dieselbe vertical empor, wie eben auch eine tropfbare Flüssigkeit einen specifisch leichteren Gegenstand emporhebt. Die kalte Luft fliesst also in den Raum, wo sich vorher die erwärmte Luft befand, und während ihrer Erwärmung wird auch sie wieder emporgehoben. Dieser Vorgang währt so lange, wie die ungleiche Erwärmung stattfindet, und die nach

und nach erwärmten Luftmassen gestalten sich zu einer warmen Luftsäule über dem Orte der Erwärmung. Die warme Luftsäule muss, wenn sie nicht durch andere Einflüsse wieder theilweise ihren grösseren Wärmegehalt verliert und wenn das Gleichgewicht der übrigen Atmosphäre auf andere Weise nicht gestört wird, vertical durch die ganze kältere Atmosphäre emporgehoben werden und oben über derselben nach allen Seiten hin abfliessen. Während die warme Luftsäule in höhere Luftschichten, die selbst ein geringeres Gewicht tragen, die unter dem beständig abnehmenden Luftdrucke eine geringere Spannkraft haben, als die unteren Schichten, emporgehoben wird, dehnt sie sich bei Verminderung des Seitendruckes der kälteren Luft beständig aus und wird dadurch auch beständig kälter; so lange sie sich aber nicht mit kälteren Luftmassen vermischt, bleibt sie wärmer und specifisch leichter als die sie umgebende Luft; diese selbst ist in den höheren Regionen, allerdings in demselben Verhältnisse dünner, absolut verdünnt; sie hat mit der wärmeren Luftsäule in jeder horizontalen Schicht die gleiche Spannkraft, während sie dagegen nicht in solchem Grade relativ verdünnt, sondern kälter, specifisch schwerer ist.

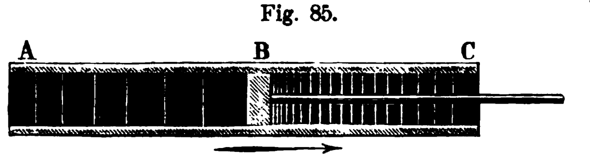
Die Luftmassen, durch welche die erwärmte Luft verdrängt wird, fliessen aus immer grösseren Entfernungen herbei, so dass eine immer weiter um sich greifende Luftbewegung entsteht. Nach dieser Entstehungsweise des Windes sieht man leicht ein, dass derselbe Wind in jenen Gegenden, welche dem Orte der Entstehung näher liegen, früher wahrgenommen werden muss, als in grösserer Entfernung, so dass z. B. ein Nordwind im Süden früher beobachtet wird als im Norden. Der Nordwind bläst nicht aus dem Norden, wie man etwa mit einem Blasbalge nach südlicher Richtung blasen kann, sondern er fliesst nach Süden, weil der Druck von jener Himmelsgegend her geringer geworden ist, als der Druck von Norden her.

Ob eine Luftmasse, sobald sie in Bewegung geräth, absolut verdünnt oder verdichtet werde, hängt hauptsächlich davon ab, ob das Gleichgewicht der ruhigen Luftmasse durch Verminderung des Druckes auf der einen Seite, oder durch Vergrösserung desselben auf der anderen Seite gestört worden ist. Da ohne Zweifel jede Luftbewegung eine Wellenbewegung ist, so wird immer absolute Verdünnung und Verdichtung wechselweise eintreten, wobei jedoch die eine der beiden Veränderungen unter gewissen Umständen vorwalten wird.

Man denke sich eine lange cylindrische, an beiden Enden offene Röhre, wie in Fig. 85 *A B C*, in der Mitte mit einem Kolben versehen. Zieht man den Kolben von *B* gegen *C* hin, so muss die ganze Luft-

masse in der Röhre sich nach derselben Richtung bewegen, und wäre die Luft nicht elastisch, so müsste die Bewegung an sämmtlichen Stellen in der Röhre eine gleichzeitige und gleichförmige sein. Die Spannkraft der Luft modificirt diese Annahme. Bei

Fig. 85.



der Bewegung des Kolbens von B nach C wird die Luft in der Röhrenhälfte $B\,C$ zuerst unmittelbar am Kolben gepresst; ihre Spannkraft wird dadurch grösser als die Spannkraft der übrigen Luft in der Röhre; die Pressung setzt sich von B gegen C hin fort, so dass während der Bewegung des Kolbens in der genannten Richtung die Luft am Ende C der Röhre später gepresst und bewegt wird, als die Luft in der Mitte der Röhre. Die durch Pressung bewegte Luft in der Röhre $B\,C$ ist offenbar auch dichter als die vorher in demselben Raume befindliche ruhige Luft.

Nun betrachte man den gleichzeitigen Vorgang in der anderen Röhrenhälfte $A\,B$. Durch das Zurückziehen des Kolbens von B gegen C wird der Druck auf die Luft in dieser Röhrenhälfte von B aus geringer. Die Spannkraft der Luft ist zunächst am Kolben am geringsten. Von hier aus muss also auch die Bewegung beginnen, so dass also die Luft am Ende A der Röhre erst später gegen den Kolben hin sich bewegt, als der Kolben selbst in Bewegung gesetzt wird. Die auf solche Weise durch Expansion bewegte Luft in der Röhre $A\,B$ ist jedenfalls dünner als vorher die ruhige Luft an derselben Stelle.

Aehnlich wie diese Luftbewegung in der Röhre $A\,B$, veranlasst durch Verminderung des Druckes in B, ist auch gewöhnlich die Luftbewegung in der Atmosphäre zu betrachten. Die Luft des Windes ist also unter diesen Umständen in Beziehung auf dieselbe Luftmasse, so lange sie in Ruhe war, absolut verdünnt.

Bezüglich der warmen Luft jedoch, welche von der kälteren emporgehoben wird, oder einer Luftmasse, welche durch das Niedersinken kälterer Luft verdrängt wird, gilt der Vorgang in der Röhre $B\,C$; diese warme Luft wird von den Seiten und von unten nach oben gepresst.

Durch die wechselnde Gestaltung der vom Winde getroffenen Erdoberfläche werden natürlich mancherlei Richtungsänderungen und Unregelmässigkeiten veranlasst.

Sehr regelmässige Luftströmungen beobachtet man an den Meeresküsten und auf Inseln. Da die grosse Wassermasse des Meeres auch im Sommer und Winter nur wenig erwärmt und abgekühlt wird,

so fliesst im Sommer vorwiegend die Luft, welche über die Meeresfläche streicht, abgekühlt nach dem Lande, im Winter dagegen findet vorwiegend die umgekehrte Luftbewegung statt. Dabei kommen, durch gleiche Ursachen hervorgerufen, tägliche Modificationen vor. Wird am Morgen Land und Meer von der Sonne beschienen, so ist der feste Boden, folglich die Luft über demselben schneller erwärmt als das Wasser und die über demselben gelagerte Luft. Desswegen fliesst am Morgen die kalte Luft von dem Meere her nach dem Lande. Umgekehrt ist es am Abend; das Land ist schneller abgekühlt als das Wasser, der Wind hat nun die Richtung gegen das Meer hin. Diese Erscheinung kennen die Küstenbewohner sehr gut und wissen sie zu ihrem Vortheile zu benutzen.

Die am meisten constanten Luftströmungen sind die Passatwinde. Die Luft in den Aequatorialgegenden wird fast beständig stark durch die Sonne erwärmt, wird desshalb von den nördlich und südlich gelagerten kälteren Luftmassen emporgehoben und fliesst oben gegen beide Pole hin ab, während in umgekehrter Richtung die Luftmassen gegen den Aequator hinfliessen. Die oben abfliessende warme Luft verliert allmälig durch Berührung und Vermischung mit den kälteren Luftmassen, über welche sie wegfliesst, einen Theil ihrer Wärme, gelangt zuweilen auf ihrem Wege gegen die Pole in wärmere Luftmassen, in denen sie herabsinken muss, oder sie begegnet anderen Strömungen und Hindernissen, welche die Richtung und Stärke ihrer Strömung ändern.

In einer aufwärts gerichteten Luftbewegung kann selbst wieder eine Gegenströmung stattfinden. Eine über eine grosse von der Sonne bestrahlte Fläche ausgebreitete Luftmasse wird von der angrenzenden kälteren Luft gehoben, muss also die Bewegung nach oben annehmen. Ist nun innerhalb dieser Fläche selbst wieder ein Theil beschattet, etwa durch eine Wolke, so ist der Boden und die Luft daselbst kälter, sie fliesst am Boden nach allen Seiten dahin, wo die Sonne scheint, während in einiger Höhe die wärmere Luft in den Schatten fliessen und daselbst sinken muss, um den Raum auszufüllen, aus welchem die kältere Luft unten abfliesst.

Was die Feuchtigkeitscapacität der Luft betrifft, so ist diese, wie aus §. 56, 57 und 58 hervorgeht, wegen ihrer Veränderlichkeit nach der Temperatur der Luft, wegen der mit dem Dampfgehalte veränderlichen Dichte und Spannkraft der Luft von wesentlichem Einfluss auf die Luftbewegungen in der Atmosphäre. Immer bleibt übrigens auch hier die Wärme die Hauptursache. Durch Abkühlung der Luft, mag diese durch directen Wärmeverlust in einer

betrachteten Luftmasse oder nur beziehungsweise durch Vermischung zweier oder mehrerer ungleich warmer Luftmassen entstehen, wird immer die Feuchtigkeitscapacität der Luft vermindert, und wenn die Luft hinreichend mit Wasserdampf gesättigt war, so fällt ein Theil des Dampfes als Wasser, Schnee oder Eis heraus. Immer wird durch die Condensation des Dampfes eine grosse Menge von Wärme frei. Je nach der Grösse des Druckes, unter welchem sich die Luftmasse bei ihrer Abkühlung befindet, also nach der Höhe der Atmosphäre über derselben, nach der Spannkraft, nach der Temperatur und folglich dem Feuchtigkeitsgehalte der Luft vor der Abkühlung, nach den Temperaturunterschieden vor und nach der Abkühlung und Condensation des Dampfes, sowie nach der Schnelligkeit, mit welcher diese Condensation geschieht, sind die damit verknüpften Erscheinungen auch in Bezug auf die Luftströmungen verschieden. Es kann sich zufällig treffen, dass die Luft durch Aufnahme der aus dem Dampfe freigewordenen Wärme ausgedehnt, mit der ursprünglichen Spannkraft wieder denselben Raum einnimmt, wie vorher in dem mit Dampf gesättigten Zustande.

Wenn aber die Temperatur schon vor der Abkühlung nicht hoch war, die Abkühlung nicht bedeutend, die niedergeschlagene Wassermenge, demnach auch die freigewordene Wärmemenge verhältnissmässig nicht gross ist, so kann es sich ereignen, dass die Luftmasse vor der Abkühlung durch die Spannkraft des Dampfes einen grösseren Raum eingenommen hat, als der ist, welchen sie nach der Abkühlung und Condensation bei gleichem äusseren Drucke einnimmt. In diesem Falle entsteht absolute Luftverdünnung und die Luft der Umgebung fliesst von allen Seiten herbei, um die Raumverminderung auszugleichen, oder das Gleichgewicht der Spannkräfte wieder herzustellen.

Ist durch Vergrösserung oder Verminderung des Raumes einer Luftmasse, deren Wassergas theilweise condensirt worden ist, das Gleichgewicht der Spannkräfte hergestellt, so ist fernerhin die Luftbewegung davon abhängig, ob die Luft der Umgebung eine andere Temperatur, ein anderes specifisches Gewicht hat, als die fragliche Luftmasse. Die Temperatur der letzteren wird in der Regel höher sein, wenn dieselbe die aus dem condensirten Dampfe freigewordene Wärme grösstentheils wieder aufgenommen hat; alsdann wird auch diese wärmere, specifisch leichtere Luftmasse in die Höhe gehoben, vorausgesetzt, dass die Luftmassen der Umgebung nicht durch einen verhältnissmässig viel höheren Dampfgehalt auch bei niederer Temperatur noch specifisch leichter sind, was bei geringen Temperaturunterschieden der Fall sein könnte. Wird hingegen die Luftmasse dadurch abgekühlt,

dass dieselbe sich über kalte Gegenstände, Eisflächen, kalte Stein- und Erdmassen, Berge, Wälder u. dgl. hinbewegt, so können diese kalten Gegenstände auch die aus dem Dampfe freigewordene Wärme grösstentheils absorbiren, so dass alsdann die Luft nicht in die Höhe gehoben wird, sondern fernerhin am Boden fortfliesst.

Durch plötzlich veranlassten Niederschlag, besonders wenn die mit Wasserdampf gesättigte Luftmasse selbst schon eine sehr hohe Temperatur hatte, kann die Erwärmung der Luft, somit die Ausdehnung und Verminderung des specifischen Gewichts ausserordentlich gross werden. Die Luft der Umgebung wird hiebei zunächst bei der plötzlichen Ausdehnung mit grosser Gewalt zurückgedrängt, mit grosser Gewalt presst sie aber alsdann wieder gegen die specifisch leichter gewordene Luftmasse und hebt dieselbe oft mit ausserordentlicher Schnelligkeit empor. Weil mit der entsprechenden Schnelligkeit die kälteren Luftmassen von allen Seiten gegen die wärmere hinströmen und in den Raum zusammenstürzen, aus welchem sie jene wärmere emportreiben, so müssen diese Luftmassen bei ihrem gewaltigen Gegeneinanderstürzen sich gegenseitig momentan verdichten, alsdann in Kampf gerathen, Wirbelwinde erzeugen. Man darf vielleicht vermuthen, dass solch ein mächtiges Aneinanderprallen kolossaler Luftmassen in gewissem Zusammenhange steht mit der Entstehung des Blitzes. Wenn eine schwere Gewitterwolke über uns steht, können wir fast immer die Bemerkung machen, dass nach jedem heftigen Blitze sich ein heftiger Regenstrom zur Erde ergiesst, wonach man schliessen kann, dass die Entstehung dieses Niederschlags und die Entstehung des Blitzes in demselben Momente und durch dieselbe Ursache geschehen ist.

Ebenso ist es eine bekannte Thatsache, dass Gewitter, welche von starkem Hagel begleitet sind, besonders gewaltig und mit heftigerem Winde auftreten, als Gewitter mit gewöhnlichem Regen.

Einen besonders eclatanten Fall dieser Art habe ich an einem heissen Nachmittag im Herbste des Jahres 1855 in München beobachtet. In dem königlichen, unmittelbar an der Stadt liegenden englischen Garten fielen Hagelschlossen, mitunter von der Grösse wie Hühnereier, und daselbst wurden in wenigen Minuten Hunderte der stärksten Bäume durch Wirbelwinde hoch aus dem Boden gehoben, theils von ihren Wurzeln abgedreht, viele Büsche gänzlich entlaubt. Der Orkan wüthete plötzlich in furchtbarer Weise. Unter dem heitersten Himmel hatten Schaaren von Spaziergängern die Stadt verlassen und sahen sich plötzlich in solcher Weise durch die nie gesehenen riesenhaften Naturerscheinungen überrascht, dass Viele glaubten, der jüngste Tag oder ihre letzte Stunde sei

gekommen. Von solchem Schrecken hatte man zu derselben Zeit am entgegengesetzten Ende der Stadt kaum eine Ahnung. Allerdings wurden einige heftige Blitze und Donnerschläge wahrgenommen, allein der Regen und Hagel war ganz unbedeutend und auch der Wind nicht in ungewöhnlicher Weise heftig.

§. 86.

Hindernisse des Windes.

Vielfachen Einfluss auf die Richtung und Stärke des Windes in der Nähe der Erdoberfläche hat die Beschaffenheit dieser selbst. In den höheren Regionen der Atmosphäre bewegen sich die Luftströme mit viel grösserer Regelmässigkeit, als in den unteren. Dieselbe Richtung hat der Wind in allen Höhen über einem Orte der Erde niemals, viel weniger dieselbe Geschwindigkeit; und das theils aus dem Grunde, weil ein Luftstrom von einem Orte eine bestimmte Luftmasse wegführt, welche häufig durch eine in anderer Höhe stattfindende Gegenströmung ersetzt wird, theils auch desswegen, weil zu gleicher Zeit an verschiedenen Orten Winde entstehen. In der Nähe der Erde kommt hiezu noch die Ablenkung des Windes durch die verschiedene Gestaltung der Erdrinde, durch die natürlichen und künstlichen Hervorragungen über derselben, dann die Schwächung des Windes durch die Reibung an diesen Gegenständen. Hat ein Luftstrom eine Bewegung in bestimmter Richtung angenommen, so wird er von jeder festen Fläche, gegen welche er trifft, in deren Richtung abgelenkt. Der Luftstrom verfolgt die Richtung dieser Fläche, und so lange nicht andere Ursachen ihn aufs Neue ablenken, setzt er vermöge der Inertie seinen Weg in jener Richtung fort, mit welcher er die Fläche verlässt. Sehr häufig fliessen wärmere Luftmassen über den kälteren weg, mit welchen die Niederungen der Erdoberfläche ausgefüllt sind; allein auch kalte Winde fliessen, wenn sie einige Geschwindigkeit erlangt haben, über Thäler und Schluchten weg, in welchen die Luft sogar wärmer ist. Im Allgemeinen sind die Winde in Niederungen und Thalebenen nicht so heftig, als auf Bergen und Hochebenen. Berge, Wälder, Thäler, Schluchten, Städte, in diesen die Strassen und einzelnen grösseren Bauten ändern die Richtung und Stärke des Windes. So haben wir häufig Gelegenheit zu sehen, dass die Windfahne auf dem Kirchthurm anders steht, als die auf dem Nebengebäude, dass diese selbst wieder eine andere Windrichtung zeigt, als wir sie in der Strasse bemerken, während die Wolken in noch anderer Richtung

hinziehen, ja diese selbst wieder in verschiedenen Höhen auch in verschiedenen, zuweilen in gerade entgegengesetzten Richtungen.

§. 87.

Geschwindigkeit des Windes.

Die Erwärmung der Erdoberfläche ist zu jeder Zeit eine sehr verschiedene, die Störung des Gleichgewichts in der Atmosphäre sonach eine unausgesetzte. Vollkommen ruhig kann daher die Luft niemals sein. Bisweilen glauben wir wohl völlige Windstille zu haben; wir sehen eine Flaumfeder zu Boden fallen, den Rauch aus dem Schornstein in verticaler Säule emporsteigen; kein Blättchen am Strauch scheint sich zu bewegen und die Oberfläche des Wassers erscheint uns als vollkommen ebener Spiegel. Trotz dieser scheinbaren Bewegungslosigkeit bewegt sich die Luft aber immer noch mit einer Geschwindigkeit von etwa $^1/_2$ Meter in der Secunde. Unsere Nerven sind jedoch nicht hinreichend empfindlich, um uns durch das Gefühl eine so geringe Luftbewegung kundzugeben; die Luftbewegung, die wir als leisen Hauch empfinden, hat eine Geschwindigkeit von ungefähr 1 Meter.

Ein sanftes Lüftchen bewegt sich mit der Geschwindigkeit von 2 bis 3 Meter.

Bei 3 bis 5 Meter in der Secunde sprechen wir von mässigem, bei 5 bis 12 Meter von heftigem Wind; bei noch grösserer Geschwindigkeit nennen wir die Luftbewegung Sturmwind.

Grössere Geschwindigkeit als 18 Meter kommt auch bei Sturmwind selten vor, doch macht ein Orkan 30 bis 40 Meter und noch mehr in einer Secunde.

Die mittlere Geschwindigkeit des Windes schwankt für verschiedene Orte Deutschlands nicht viel unter und über 3 Meter. Im Allgemeinen ist sie an höher gelegenen Orten grösser als in Niederungen.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Windes hat man verschiedene Instrumente ersonnen, welche man Anemometer, Windmesser nennt. Diese Instrumente beruhen darauf, dass ein dem Winde entgegenstehender Körper einen um so grösseren Druck erleidet, oder um so weiter oder schneller aus seiner Lage verschoben wird, je grösser die Geschwindigkeit des auf ihn treffenden Luftstroms ist.

Von solchen Instrumenten soll ausführlicher die Rede sein, nachdem über den Druck oder die Pressung des Windes gegen feste Flächen das Nöthige mitgetheilt sein wird.

§. 88.

Windpressung und Luftwiderstand.

Ein in ruhiger Luft ruhender Körper erleidet von allen Seiten den Luftdruck. Bei relativer Bewegung entsteht Ueberdruck, um dessen Bestimmung es sich hier handelt.

Man pflegt diesen Ueberdruck kurzweg den Druck, die Pressung, den Widerstand zu nennen, was auch im Folgenden, ohne Missverständnisse zu veranlassen, geschehen kann.

Der Druck oder die Pressung des Windes gegen eine Fläche, welche ihm normal oder schräg im Wege steht, sowie auch der Widerstand, welchen ein Körper erfährt, während er sich mit gewisser Geschwindigkeit in ruhiger Luft bewegt, wächst mit der Geschwindigkeit, mit welcher sich im ersten Falle der Wind gegen die ruhende Fläche bewegt, im anderen Falle mit der Geschwindigkeit des Körpers selbst. Ist der Körper sowohl wie die Luft in gleicher oder entgegengesetzter Richtung in Bewegung, so entspricht der Druck der relativen Geschwindigkeit, welche bei entgegengesetzter Bewegungsrichtung die Summe, bei gleicher Richtung die Differerenz beider Geschwindigkeiten ist.

Die Pressung muss auch unter sonst gleichen Umständen um so grösser sein, je grösser die gedrückte Fläche ist, und je mehr sich ihre Lage der rechtwinkeligen gegen die Bewegungsrichtung nähert.

So leicht begreiflich das Alles ist, so schwierig ist es, die Windpressung genau zu berechnen. Die Erfahrung fordert Modificirung der theoretischen Resultate durch Coëfficienten, die selbst wieder sehr variabel sind.

So ist zwar die Annahme theoretisch begründet, dass die Pressung mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit wächst, aber die Erfahrung hat gezeigt, dass dieses Wachsen etwas stärker erfolgt, als im Quadrate der Geschwindigkeiten.

Ferner wächst die Pressung nicht genau im geraden Verhältniss mit der Grösse der gepressten Fläche, und bei gleichen Flächengrössen ist die Form der Fläche und das Verhältniss des Umfangs zum Quadratinhalte von Einfluss, ebenso die Form und Längenausdehnung des Körpers hinter der gepressten Fläche.

Endlich sind noch bei schiefer Lage der gedrückten Fläche verschiedene theoretische Anschauungen möglich.

Man darf sich demnach nicht wundern, dass die für die Berechnung

des Winddrucks oder Luftwiderstandes in verschiedenen Büchern angegebenen Formeln und Zahlen Abweichungen zeigen.

Der Gegenstand ist in wissenschaftlicher Hinsicht von so grossem Interesse und in technischer Hinsicht von solcher Wichtigkeit, dass es gerechtfertigt sein wird, ihm hier eine etwas ausgedehnte Behandlung zu widmen, dadurch auch zur Lösung des schwierigen Problems beizutragen oder weiter anzuregen.

Es mögen zuerst die Angaben einiger Autoritäten der älteren Zeit mitgetheilt werden, wobei der leichteren Vergleichung wegen gleichmässig die folgenden Bezeichnungen eingeführt werden:

v die Geschwindigkeit des Windes in einer Secunde,
p das Gewicht eines Cubikmeters Luft,
g die Acceleration der Schwere $= 9{,}81$ m,
f die normal getroffene Fläche und bei schiefem Stoss die Projection der gedrückten Fläche F normal auf die Bewegungsrichtung,
α der Winkel, unter welchem die getroffene Ebene gegen die Windrichtung geneigt ist.

Die Grösse der normalen Windpressung ist:

nach Euler $\frac{v^2}{2g} f \cdot p$

nach Woltmann $\frac{5}{4} \frac{v^2}{2g} f \cdot p$

bis $\frac{4}{3} \frac{v^2}{2g} f \cdot p$

nach Langsdorff $1{,}386 \frac{v^2}{2g} f \cdot p$

Die Grösse des schiefen Stosses ist:

nach Euler $\frac{v^2}{2g} Fp \cdot \sin\alpha$

nach Woltmann $\frac{5}{4} \frac{v^2}{2g} Fp \cdot \sin\alpha$

nach Langsdorff $1{,}386 \frac{v^2}{2g} Fp \sqrt{\sin\alpha}$

Allgemeiner wird der Widerstand der Bewegung in einer Flüssigkeit dargestellt durch die Formel:

$$W = \zeta p f \frac{v^2}{2g},$$

wobei wieder f bei normalem Druck die gedrückte Fläche selbst, ausserdem die Projection der gedrückten Fläche normal auf die Bewegungsrichtung bedeutet, wonach also bei einer schrägen, gegen die Bewegungs-

richtung unter dem Winkel α geneigten Ebene von der Grösse F zu setzen ist

$$f = F \,.\, \sin \alpha$$

Ferner ist ζ ein von der Form des Körpers abhängiger Erfahrungscoëfficient. (Vgl. Ritter, Mechanik. 1870 S. 739.)

Dieses stimmt mit den Formeln von Euler und Woltmann für den schiefen Stoss überein, wenn man $\zeta = 1$ und beziehungsweise $^5/_4$ setzt.

Wenn man aber den Coëfficienten ζ als constant annehmen wollte, so müsste man folgern, dass der Winddruck auf die convexe Seite eines Cylinders eben so gross wäre, wie normal auf das Rechteck des nach der Axe genommenen Cylinderschnittes, und der Winddruck auf eine Kugel so gross wie normal auf die Ebene eines grössten Kugelkreises und auf die concave Fläche der hohlen Halbkugel.

Dass solche Gleichheit des Druckes nicht stattfinden kann, ist leicht einzusehen. Anstatt aber verschiedene Formeln aufzustellen, hat man sich unter Beibehaltung der allgemeinen Formel mit Einführung verschiedener Coëfficienten geholfen.

Solche Coëfficienten sind:

für ein Prisma von geringer Länge, dessen Grundfläche der bewegten Flüssigkeit normal entgegengerichtet ist,

$$\zeta = {}^4/_3;$$

für einen Cylinder, auf dessen Mantel der Stoss wirkt,

$$\zeta = {}^2/_3;$$

für eine Kugel bei kleiner Geschwindigkeit,

$$\zeta = 0{,}5;$$

für eine Geschützkugel

$$\zeta = 0{,}5 + 0{,}001\, v;$$

für eine hohle Halbkugel, auf deren concave Seite der Ueberdruck wirkt,

$$\zeta = 2{,}5.$$

Bei Eisenbahnzügen ist der Luftwiderstand (nach Redtenbacher):

$$W = 0{,}0704\, (F + {}^1/_4\, n f)\, v^2$$

Darin ist F die 7 bis 8 Quadratmeter grosse Vorderfläche der Locomotive, f die Vorderfläche eines angehängten Wagens und n die Anzahl dieser.

Der Coëfficient ζ für die obige Formel ist von Kargl („Civil-Ingenieur“ 1870 S. 451) nach Versuchen mit einem Rotationsapparate und mit ebenen Flächen bei Geschwindigkeiten von 0,91 Meter bis 2,04 Meter sogar zu 6,3 bis 7,3 angegeben worden, wobei jedoch ein Irrthum zu vermuthen sein dürfte.

Es wäre offenbar ein grosser Fortschritt, wenn man die Druck-

formeln von dem Coëfficienten ζ unabhängig geben oder auch nur Wege bezeichnen könnte, um mit Beibehaltung eines constanten Werthes von ζ den Winddruck für die verschiedenen Fälle richtig zu berechnen.

In der That soll für die Berechnung des normalen und schiefen Druckes, folglich auch für polygonale und gekrümmte Körperflächen nach einer Abhandlung neueren Datums (Deutsches Jahrbuch über die Leistungen und Fortschritte auf dem Gebiete der Theorie und Praxis der Baugewerbe. 1874. S. 401 und 454) der Erfahrungscoëfficient entbehrlich, das Resultat rein theoretisch gefunden werden, nämlich auf folgende Weise:

Die Intensität des Windes, welche von der Masse m der geworfenen Luft und deren Geschwindigkeit v abhängt, beträgt

$$W = m v$$

Bekanntlich ist aber

$$m = \frac{Q}{g} = \frac{v \gamma}{g}$$

wenn Q das Gewicht der pro Secunde ankommenden Luft, g die Beschleunigung der Schwere = 9,81 Meter und γ das specifische Gewicht $= \frac{1}{800}$ (Wasser als Einheit) bedeuten, so dass der Effect des Windes auf eine normal getroffene Fläche f:

$$W = \frac{f v^2 \gamma}{g} = \frac{1000 \,.\, f \,.\, v^2}{800 \,.\, 9{,}81}$$

$$W = 0{,}127 \, f v^2$$

Bildet aber die Richtung der Bewegung des Windes mit der Ebene einen Winkel α, so ist eine Zerlegung beider Factoren, sowohl für die Fläche, als für die Geschwindigkeit vorzunehmen. Für die schiefe Fläche f ist

$$f_1 = f \sin \alpha$$

Des Windes Geschwindigkeit v zerfällt an der schiefen Fläche in die beiden Seitengeschwindigkeiten

$$v \,.\, \cos \alpha \text{ und } v \,.\, \sin \alpha$$

Mit der ersten dieser Seitengeschwindigkeiten gleitet der Wind parallel zur Ebene f fort, ohne Stoss hervorzubringen, während die Ebene mit der Geschwindigkeit $v \,.\, \sin \alpha$ senkrecht getroffen wird.

Vertauscht man daher in obiger Formel

$$f \text{ mit } f \,.\, \sin \alpha \text{ und}$$
$$v^2 \text{ mit } v^2 \,.\, \sin \alpha^2,$$

so ist der auf die geneigte Fläche f senkrecht wirkende Druck

$$W_1 = 0{,}12 \, f v^2 \sin \alpha^3$$

Dieser Druck muss aber durch das Parallelogramm der Kräfte zerlegt werden in die beiden Seitenkräfte:
in der Windrichtung:

$$W_1 \sin \alpha = 0{,}12\, f v^2 \sin \alpha^4$$

rechtwinkelig auf die Windrichtung:

$$W_1 \cos \alpha = 0{,}12\, f v^2 \sin \alpha^3 \cos \alpha$$

Leider wird man durch diese Entwickelungen nicht von der nothwendigen Richtigkeit überzeugt. Man mag hinwegsehen über einige Ungenauigkeiten der Ausdrucksweise; aber es ist eine zu willkürliche Annahme, und sollte vor Allem theoretisch begründet sein, dass

$$W = m v$$

also die sogenannte Bewegungsgrösse der Masse der wirkliche Werth des Winddrucks ist, wenn auch unbestreitbar feststeht, dass der Winddruck mit der Masse der ankommenden Luft und mit deren Geschwindigkeit wächst. Als Beweis der Richtigkeit der gemachten Voraussetzungen wird der Umstand nicht gelten dürfen, dass die Formel

$$W = 0{,}127\, f v^2$$

Werthe liefert, welche zufällig mit Beobachtungsresultaten bei mittleren Verhältnissen gut übereinstimmen.

Den Winddruck gegen die nicht normale Fläche betreffend, wird die Zerlegung des Druckes W richtiger sein, als die Zerlegung der Geschwindigkeit v.

Denn es ist in der Wirklichkeit nicht der Fall, dass der Wind parallel zur schiefen Ebene mit der Geschwindigkeit $v \,.\, \cos \alpha$ fortgleitet, ohne Druck hervorzubringen, und dass die Ebene durch den Wind mit der Geschwindigkeit $v \,.\, \sin \alpha$ senkrecht getroffen wird.

Die an der Ebene befindlichen Lufttheilchen erleiden eine Stauung durch die den Abfluss hemmenden Lufttheilchen und eine Pressung, Verdichtung, durch die nachfolgenden, und sie drücken, während sie an der Ebene fortgleiten, auf diese Ebene.

Dabei müssen im Beharrungszustande ebenso viele Lufttheilchen und mit derselben Geschwindigkeit beständig an der Ebene fortgleiten, als Lufttheilchen an derselben ankommen.

Bei Durchführung der Zerlegung des Druckes erscheint dann in den Schlussgleichungen der Sinus in der 3. Potenz anstatt in der 4., und beziehungsweise in der 3. statt in der 2. Potenz.

Folgende Auffassung dürfte den wirklichen Vorgängen entsprechen und zu richtigen Formeln führen.

Die allgemeine Relation zwischen der Geschwindigkeit v und der zugehörigen Geschwindigkeitshöhe h ist

$$v = \sqrt{2\,g\,h} \text{ oder } h = \frac{v^2}{2\,g}$$

Wird durch den Ueberdruck einer Luftsäule von der Höhe h die Geschwindigkeit v veranlasst, so muss auch wieder die mit der Geschwindigkeit v sich bewegende Luft auf eine ihr normal im Wege stehende Ebene einen Druck ausüben, welcher jenem ursprünglichen Drucke gleich ist, eine Luftsäule von der Höhe h heben und gehoben erhalten kann. Die bewegte Luft bildet das übertragende Mittel des ersten Drucks auf den zweiten. Man kann die Längenausdehnung des übertragenden Mittels beliebig gross, auch verschwindend klein annehmen, kann sich also anstatt der mit der Geschwindigkeit v Meter an eine feste Fläche gelangenden Luft eine daselbst unmittelbar drückende Luftsäule von der Druckhöhe h Meter denken.

Ist p Kilogramm das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft und f Quadratmeter die Grösse der normal gedrückten ebenen Fläche, so ist demnach der Druck oder die Pressung, wenn diese mit P bezeichnet wird:

$$P = h \, . \, p \, . \, f = \frac{v^2}{2\,g}\,p\,f \text{ Kilogramm} \quad . \; . \; . \; . \quad (I$$

Diese Gleichung kann man als den Ausdruck der theoretischen Pressung bezeichnen.

Dass die wirkliche Pressung grösser sein muss, ist leicht einzusehen; die Stauung und Verdichtung der an die feste Fläche gelangenden Luft vergrössert den Druck gegen die Vorderseite, während zugleich auf der Hinterseite, wie in §. 74 veranschaulicht ist, die Lufttheilchen weggerissen werden, eine absolute Luftverdünnung entsteht, wodurch der Gegendruck nach der Vorderseite vermindert wird. In zweifacher Weise wird so der Ueberdruck vergrössert. Dazu kommt die Reibung am Umfange der Flächen, wodurch der Ueberdruck noch weiter vergrössert wird.

Trägt man dieser gesammten Vermehrung des theoretischen Ueberdrucks Rechnung durch Beifügung des Coëfficienten ζ, so ist der wirkliche Ueberdruck oder die Windpressung durch die Gleichung darzustellen:

$$P_1 = \zeta \, \frac{v^2}{2\,g} \, p \, . \, f \text{ Kilogramm} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (II$$

Für Luft von der normalen Beschaffenheit ist

$$p = 1{,}293 \text{ Kilogramm.}$$

Setzt man diesen Werth ein, so wird

$$P_1 = \zeta \, \frac{v^2}{2 \, . \, 9{,}81} \, . \, 1{,}293 \, . \, f$$
$$= \zeta \, . \, 0{,}0659 \; v^2 f,$$

wofür man, da das Gewicht von 1 Cubikmeter Luft in der Atmosphäre der als normal bezeichneten Luft gegenüber wegen geringeren Luftdrucks, höherer Temperatur und grösserer Feuchtigkeit fast immer geringer ist als 1,293 Kilogramm, der Wirklichkeit im Allgemeinen besser entsprechend setzt

$$P_1 = \zeta \,.\, 0{,}065 \,.\, v^2 \,.\, f \text{ Kilogramm.}$$

Der Coëfficient ζ ist, wie oben mitgetheilt, bei der gleichen Formel nach Woltmann, ohne Zweifel für kleine Flächen gefunden, $^5/_4$ oder 1,25; bei sehr grossen Flächen kann er über 3 anwachsen.

Setzt man für mittelgrosse Flächen

$$\zeta = 2,$$

so erhält man

$$P_1 = 0{,}13\ v^2 f \text{ Kilogramm} \quad \ldots\ldots \quad \text{(III}$$

als Näherungsgleichung des normal auf eine Fläche von f Quadratmeter wirkenden Winddrucks oder Luftwiderstandes bei v Meter Geschwindigkeit und mittelgrossen Flächen.

Durch Benützung der Werthe 1,25 und 3 für ζ erhält man nach Abrundung noch folgende Näherungsgleichungen:

Für sehr kleine Flächen:

$$P_1 = 0{,}08\ v^2 f \text{ Kilogramm} \quad \ldots\ldots \quad \text{(IV}$$

für sehr grosse Flächen:

$$P_1 = 0{,}2\ v^2 f \text{ Kilogramm} \quad \ldots\ldots \quad \text{(V}$$

Den Werth des Coëfficienten ζ kann man zugleich als die Windpressung bei 1 Meter Geschwindigkeit auf 1 Quadratmeter ansehen.

Diese ist also bei mittelgrossen Flächen 0,13 Kilogramm,
bei sehr kleinen Flächen 0,08 „
bei sehr grossen Flächen 0,20 „

Ferner berechnet sich für mittelgrosse Flächen die Windpressung auf 1 Quadratmeter:

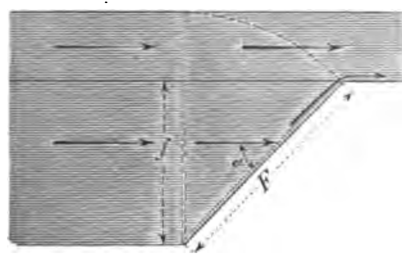
bei 1 Meter Geschwindigkeit	0,13 .	1^2 =	0,13	Kilogramm
„ 2 „ „	0,13 .	4 =	0,52	„
„ 3 „ „	0,13 .	9 =	1,17	„
„ 4 „ „	0,13 .	16 =	2,08	„
„ 5 „ „	0,13 .	25 =	3,25	„
„ 10 „ „	0,13 .	100 =	13,00	„
„ 20 „ „	0,13 .	400 =	52,00	„
„ 40 „ „	0,13 .	1600 =	208,00	„

Die Gleichungen für den schiefen Winddruck oder Luftwiderstand, auch schiefer Stoss genannt, ergeben sich wie folgt: Gelangt die bewegte Luft unter den Winkel α (Fig. 86) auf die feste Fläche F, so muss

der Druck schon desswegen geringer sein als der Druck auf eine gleich grosse normal entgegenstehende Fläche, weil ein Theil der auf die normal stehende Fläche treffenden Lufttheilchen bei der schiefen Stellung für den Druck verloren geht. Die Druckverminderung erfolgt in dem Verhältniss

$$f : F$$

Fig. 86.



und folglich ist der Druck auf die Flächeneinheit nicht mehr

$$\zeta \frac{v^2}{2g} p \, . \, 1 \text{ Kilogramm,}$$

sondern nur

$$\zeta \frac{v^2}{2g} p \frac{f}{F} \text{ Kilogramm,}$$

und der Druck in der Richtung des Luftstroms auf die ganze Fläche F würde nach dieser vorläufigen Anschauung sein:

$$P = \zeta \frac{v^2}{2g} \, . \, p \, . \, F \, . \, \frac{f}{F}$$

Es würde dem Zwecke nicht entsprechen, hier $\frac{F}{F} = 1$ zu setzen und f beizubehalten; vielmehr muss die gegebene Fläche F beibehalten und das nach dem Winkel α veränderliche f weggebracht werden, indem man setzt

$$\frac{f}{F} = \sin \alpha$$

Danach wird

$$P = \zeta \frac{v^2}{2g} p F \sin \alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(VI}$$

Dieses wäre nach Euler und Woltmann bereits die fertige Formel für den schiefen Stoss, auch Parallelstoss oder Paralleldruck genannt.

Es kann aber nicht mit Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass der Druck P an der schiefen Fläche in dieser Weise und Grösse zur Wirkung gelangt. Die Lufttheilchen fliessen längs der Fläche F ab, wobei eine Seitenkraft des Druckes verloren geht. Die von den nachfliessenden Lufttheilchen gepressten und verdrängt abfliessenden Theilchen üben aber gegen die Fläche F einen rechtwinkeligen Druck aus von der Gesammtgrösse (Fig. 87):

$$N = P \, . \sin \alpha$$

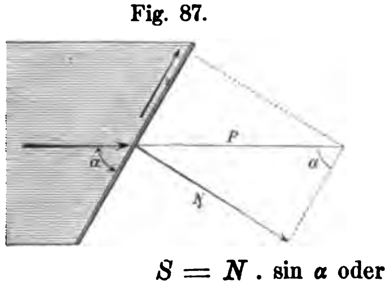
oder mit Rücksicht auf den Werth P in der vorigen Gleichung:

$$N = \zeta \frac{v^2}{2g} p F \sin^2 \alpha \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(VII}$$

Für weitere Entwickelungen muss nur die Anschauung massgebend sein, dass eine Kraft von der Grösse N auf die Fläche F wirkt.

Der Paralleldruck, nämlich die Seitenkraft S (Fig. 88) in der ursprünglichen Bewegungs- oder Stossrichtung, ist:

Fig. 87. Fig. 88.



$$S = N \,.\, \sin \alpha \text{ oder}$$
$$S = P \,.\, \sin^2\alpha \text{ oder}$$
$$S = \zeta \frac{v^2}{2\,g} p\, F \sin^3\alpha \text{ Kilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(VIII}$$

Der rechtwinkelige Seitendruck, oder die Seitenkraft R rechtwinkelig zur ursprünglichen Bewegungsrichtung:

$$R = N \,.\, \cos \alpha \text{ oder}$$
$$R = P \,.\, \sin \alpha \cos \alpha \text{ oder}$$
$$R = \zeta \frac{v^2}{2\,g} p\, F \sin^2\alpha \cos \alpha \text{ Kilogramm} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{(IX}$$

Diese Gleichungen sind für das Verständniss verschiedener Anemometertheorien, für die Berechnung mechanischer Ventilatoren, des Winddrucks auf Schornsteine, Dächer u. s. w. von Wichtigkeit. Der Erfahrungscoëfficient ζ ist auch bei diesen Formeln für den schiefen Stoss nach der Grösse der gedrückten Fläche verschieden anzunehmen. Wahrscheinlich sollte er jedoch kleiner angenommen werden, als für gleiche Flächen bei dem normalen Stoss, und zwar um so kleiner, je kleiner der Einfallswinkel α ist, weil damit die Luftstauung auf der Vorderseite und die Luftverdünnung auf der Hinterseite, also die Grösse des Ueberdrucks abnehmen wird.

Die Werthverminderung der Resultate kann ebenso wie durch Annahme eines kleineren Coëfficientenwerthes auch durch Einführung einer höheren Potenz des Sinus des Einfallswinkels erreicht werden, und wie es scheint, in günstigem Verhältniss, weil von 90° bis 0° der Werth für sin α von 1 bis 0 abnimmt, und zwar Anfangs langsamer, zuletzt sehr rasch.

Danach scheinen die oben mitgetheilten und in theoretischer Hinsicht als unrichtig bezeichneten Formeln, nämlich für den Paralleldruck

$$\zeta \frac{v^2}{2g} p F \sin^4\alpha$$

und für den Normaldruck

$$\zeta \frac{v^2}{2g} p F \sin^3\alpha \cos\alpha$$

in praktischer Hinsicht Berechtigung zu haben.

Bei den Formeln von Euler, Woltmann und Langsdorff, wo der Sinus in der ersten Potenz, beziehungsweise sogar unter dem Wurzelzeichen, also dann als echter Bruch von grösserem Werthe, vorkommt, sind die Erfahrungscoëfficienten verhältnissmässig klein, wodurch sich die Uebereinstimmung gewisser Versuchsresultate erklären lässt.

Um Missverständnissen zu begegnen, mag hier noch bemerkt werden, dass in manchen Abhandlungen die schiefe Bewegungsrichtung nicht durch den Einfallswinkel, sondern durch den Winkel angegeben wird, um welchen die gedrückte Ebene von der zur Bewegungsrichtung normalen Lage abweicht, also in Fig. 89 durch den Winkel β statt durch den Winkel α.

Fig. 89.

$$\text{Da } \sin\alpha = \cos\beta$$
$$\text{und } \cos\alpha = \sin\beta$$

ist, so hat man bei letzterer Annahme in obigen Gleichungen sin mit cos und umgekehrt zu vertauschen.

Einen sehr schätzenswerthen Beitrag zu diesem Gegenstande hat G. Hagen (in Poggendorff's Annalen 1874, S. 95) geliefert durch seine Untersuchungen „über den Widerstand der Luft gegen Planscheiben, die in normaler Richtung gegen ihre Ebenen bewegt werden.“

In exacter Weise hat Hagen mit kreisförmigen, quadratischen, oblongen und dreieckigen Planscheiben eine Menge von Versuchen angestellt und daraus für den Druck die Formel abgeleitet.

$$D = \alpha \, . \, F c^2 + \beta \, . \, q \, . \, c \, (F c) \quad \ldots \ldots \quad \text{(X}$$

Darin bezeichnen

α und β constante Coëfficienten,
F die gedrückte Fläche,
c die Geschwindigkeit,
q den Umfang der Scheibe.

Das erste Glied $\alpha F c^2$ entspricht der allgemein angenommenen Voraussetzung über die Grösse des Widerstandes, das zweite dagegen enthält ausser dem Zahlencoëfficienten β noch drei Factoren, nämlich den Umfang der Scheiben, die erste Potenz ihrer Geschwindigkeit und den cubischen Inhalt der in jeder Secunde verdrängten Luftmenge.

Hagen nimmt als wahrscheinlich an, dass dieses zweite Glied des Widerstandes nichts anderes als die Reibung bezeichnet, welche zwischen dem Rande der Scheibe und der vorbeistreichenden Luft eintritt. [Wenn dieses richtig ist, so muss der unzweifelhaft vorhandene Einfluss der Luftstauung auf der Vorderseite und der Luftverdünnung auf der Rückseite sich in dem Coëfficienten α des ersten Gliedes kund geben, wenn man den Ausdruck

$$\alpha F c^2$$

mit dem Ausdrucke der theoretischen Pressung (Gleichung I) vergleicht, nämlich mit

$$P = \frac{v^2}{2g} p f$$

Da f gleichbedeutend mit F und v^2 gleichbedeutend mit c^2 ist, so müsste

$$\frac{p}{2g} = \alpha$$

sein, wenn $\alpha F c^2$ ebenfalls der reine Ausdruck der theoretischen Pressung wäre.

Ausserdem, und wie zu vermuthen, muss sich ergeben

$$\frac{p}{2g} < \alpha$$

Es ist im höchsten Falle

$$\frac{p}{2g} = \frac{1{,}293}{19{,}62} = 0{,}0659,$$

welcher Werth bei niedrigem Barometerstand und in feuchter warmer Luft auf 0,06 herabkommen kann. Der experimentell gefundene Werth der Constanten α ist aber, wie sogleich nachgewiesen werden soll

$$\alpha = 0{,}0707$$

und dieser Mehrwerth gegen den ungefähren Werth 0,06 mag den Einfluss der Luftstauung und Luftverdünnung angeben, da Hagen mit kleinen Scheiben und im geschlossenen Zimmer bei 15° C experimentirt oder bei abweichenden Temperaturen die Resultate sämmtlicher Beobachtungen auf den Thermometerstand 15° C. reducirt hat.

Die obige Gleichung

$$D = \alpha \,.\, F \,.\, c^2 + \beta \,.\, q \,.\, c \,.\, (Fc)$$

schreibt man für die Rechnung bequemer in der Form:

$$D = (\alpha + \beta q)\, F c^2 \quad \ldots\ldots \quad \text{(XI}$$

und nach Hagen ist, wenn D in Gramm, F, c und q in Decimetern ausgedrückt werden:

$$D = \frac{7{,}070 + 0{,}1125\, q}{1000} F c^2$$

Mit Einführung von Kilogramm und Metern wird

$$D = (0{,}0707 + 0{,}01125\ q)\ F c^2 \text{ Kilogramm} \quad . \quad . \quad \text{(XII}$$

Da der Umfang q nach der Grösse und Form der gedrückten Fläche verschieden ist, so ist hiemit eine Formel gegeben, welche den auf eine ebene Fläche normal gerichteten Winddruck als Function der Grösse und Form der Fläche darstellt.

§. 89.

Messung von Luftgeschwindigkeiten.

Die zum Messen der Geschwindigkeit bewegter Luft im Freien, wie auch bei Feuerungs- und Lüftungsanlagen dienenden Instrumente heissen Anemometer, Luftmesser, besser Windmesser, auch Zugmesser.

Bis zum Jahre 1870 waren fast nur Anemometer nach Combes im Gebrauche, welche von dem Mechaniker Neumann in Paris zu beziehen waren. Jetzt werden solche Instrumente von ähnlicher und anderer Construction in vielen mechanischen Werkstätten Deutschlands angefertigt.

Das Combes'sche Anemometer in seiner ursprünglichen, echten Gestalt ist ein Rotations-Anemometer, bestehend aus einem kleinen Windrade mit vier schrägen Flügeln und einem als Zählapparat dienenden Räderwerke. Die Geschwindigkeit wird berechnet nach der Gleichung:

$$v = a + b \, . \, n$$

worin v die gesuchte secundliche Geschwindigkeit, n die Zahl der Flügelumdrehungen in einer Secunde, a und b constante Coëfficienten bedeuten, welche für jedes Instrument besonders ermittelt sind.

Diese Anemometerconstruction ist in den letzten Jahren durch Recknagel in so hohem Grade vervollkommnet worden, dass damit den hohen Anforderungen, welche in wissenschaftlicher Hinsicht bei gewissen Messungen gestellt werden müssen, Genüge geleistet werden kann. (Wiedemanns Annalen 1878).

Für die bei Heizungs- und Ventilationsanlagen, wo doch fortwährend Schwankungen der Geschwindigkeit vorkommen, auszuführenden Messungen ist so grosse Genauigkeit nicht nothwendig; es kommt da mehr auf Handlichkeit als auf sehr grosse Empfindlichkeit und Genauigkeit an.

Rotations-Anemometer jeder Art sind für die hier zu berücksichtigenden Anwendungsweisen nicht in erwünschtem Grade handlich. Man muss Zeit und Aufmerksamkeit aufwenden, um nur die Elemente zu erhalten, nach welchen die Geschwindigkeit zu berechnen ist.

Dazu kommt noch, dass kleine Staubmengen, welche in das Räderwerk gelangen, grosse Fehler veranlassen, und dass man nur selten ein Rotations-Anemometer findet, welches ganz exact gearbeitet und dessen Formel genau ist.

Ich selbst habe sehr sorgfältig mit zwei solchen Anemometern — wobei eines von Neumann — viele Messungen angestellt und fast niemals befriedigend übereinstimmende, also selten richtige Resultate erhalten. Häufig war die mit dem Anemometer gemessene Geschwindigkeit ohne erdenkliche äussere Ursache sogar grösser als die berechnete theoretische Geschwindigkeit; oft auch standen die Anemometer bei Luftgeschwindigkeiten von etwa 50 Centimeter still, obgleich nach der Formel und den Coëfficienten das eine Anemometer Geschwindigkeiten über 18, das andere solche über 22 Centimeter messen lassen sollte.

Wegen der erwähnten und noch anderer Mängel halte ich die Rotations-Anemometer nicht für praktisch, soweit der gewöhnliche Gebrauch massgebend ist.

Auch die auf dem Prinzip der Wassermanometer beruhenden Zugmesser, bei welchen sich aus dem Stande einer Flüssigkeit in einer geneigt liegenden Glasröhre die Geschwindigkeit eines Gasstromes erkennen lässt, sind mir für manche Fälle nicht handlich genug.

An ein für Geschwindigkeitsmessungen bei Ventilations-Anlagen bestimmtes Anemometer kann man folgende Anforderungen stellen:

1) Das Anemometer soll in raschem Wechsel an verschiedenen Stellen eines Raumes und in verschiedenen Räumen zu gebrauchen sein.

2) Es soll mit gleicher Zuverlässigkeit in jeder Lage, also für Messung horizontaler, verticaler und schräg gerichteter Luftströme benützt werden können.

3) Es soll in jedem Augenblick die Richtung und Geschwindigkeit des Luftstroms angeben, also auch plötzliche Stillstände und Rückstösse in der allgemeinen Luftbewegung sogleich erkennen lassen.

4) Es soll für Geschwindigkeiten von wenigstens $1/2$ bis 10 Meter in der Secunde dienlich sein.

5) Die Ablesungen der Geschwindigkeiten sollen unmittelbar möglich sein und dabei Differenzen von ungefähr zwei Procent der Geschwindigkeit noch geschätzt werden können, ohne dass die Scala und damit der Umfang des Instruments sehr gross wird.

6) Der Einfluss der Temperatur soll in der Scala berücksichtigt sein, da bei gleichem Zeigerstande die zugehörige Luftgeschwindigkeit nicht zugleich für 0° und z. B. 50° nahezu dieselbe sein kann.

7) Die Construction soll einfach, die Behandlung leicht verständlich sein, so dass das Instrument nicht leicht in Unordnung geräth, und nicht nur der Fachtechniker, sondern Jedermann ohne Vorstudium, ohne Rechnung, ohne Benützung einer Formel oder Tabelle dasselbe richtig anwenden kann.

8) Es soll eine einzige Person, ohne Beihülfe durch Mit- oder Vorarbeit Anderer mit dem Anemometer die ganze Messungsarbeit jederzeit sofort ausführen können.

Wenn ein Anemometer diesen Anforderungen entspricht, dann — und nur dann — ist es für die vorliegenden Zwecke als ein praktisches zu bezeichnen.

Nachdem ich mich lange vergeblich bemüht hatte, ein solches zu finden, suchte ich ein neues zu erfinden und kam bald zu der Ueberzeugung, dass die Herstellung kaum anders möglich sei, als dass man eine Flügelvorrichtung, welche nebst einem Zeiger an und für sich bei jeder Lage im Gleichgewicht ist, mit einer Feder so in Verbindung bringt, dass das Anemometer ein statisches wird.

Durch umfangreiche Berechnungen und viele Versuche mit den mannigfaltigsten Modellen habe ich gefunden, dass der Flügelapparat bei einem statischen Anemometer am besten aus einem Flügelrädchen besteht, ähnlich wie bei dem Rotations-Anemometer. Die Feder betreffend liegt der Gedanke am nächsten, eine Spiralfeder anzuwenden, und ich habe mir auch, obwohl die Vorberechnung kein erwünschtes Resultat geliefert hatte, zuerst einige Modelle mit Spiralfedern verschiedener Stärke angefertigt.

Ein solches Spiralfeder-Anemometer zeigte z. B. bei 0,5 m Geschwindigkeit auf 20° der Kreistheilung; bei 1,5 m stand der Zeiger auf 180, durchlief aber bei 3 m Geschwindigkeit schon zwei Mal den ganzen Kreis. Durch weitere theoretische Verfolgung erkennt man, dass bei diesem Anemometer der Zeiger bei 6 m Luftgeschwindigkeit sogar einen Bogen von 8 × 360° durchlaufen müsste, weil der Winddruck mit dem Quadrate der Geschwindigkeit, der Federwiderstand aber nur im einfachen Verhältniss mit der Biegung zunimmt.

Daraus ist klar, dass Spiralfeder-Anemometer sehr empfindlich sein können und schon bei kleinen Differenzen der Luftgeschwindigkeit grosse Ausschläge geben, desshalb wohl für manche wissenschaftlichen Untersuchungen, nicht aber für die bei Ventilations-Einrichtungen vorkommenden Messungen brauchbar sind. Durch Hemmungen, Hebel-Combinationen u. dgl. werden solche Instrumente nicht viel praktischer werden.

Ich habe desshalb diese Idee vorläufig nicht weiter verfolgt, sondern eine gerade Feder von veränderlicher Widerstandslänge gewählt, welche vor der Axe des Flügelrades unten vertical befestigt ist und die mit dem oberen Ende lose in einer Gabel liegt, welche die umgebogene Fortsetzung und zugleich das Gegengewicht des Zeigers bildet. Indem ein Luftstrom drehend auf das Flügelrad und den damit fest verbundenen Zeigerarm wirkt, biegt sich die Feder, und zugleich wird die hemmend wirkende Federlänge geringer.

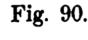
Da der Federwiderstand sich im Verhältniss der Federbiegung und nach der 3. Potenz der wirksamen Federlänge ändert, wächst der Federwiderstand rascher als der Winddruck, die Scalatheilung wird für die grösseren Geschwindigkeiten kleiner, aber zweckmässig nur in dem Grade, dass der obigen fünften Anforderung noch Genüge geleistet wird.

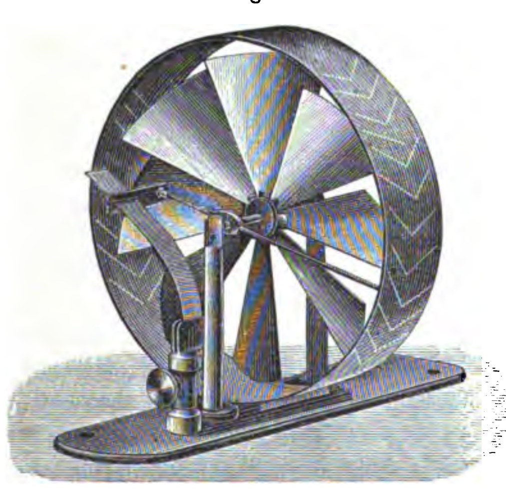
Ausführlicheres über dieses Anemometer bringt der nächste Paragraph.

§. 90.

Das statische Anemometer von Wolpert.

Einrichtung. In Fig. 90 ist dieses Anemometer in etwas mehr als halber Grösse dargestellt.


Fig. 90.



Es besteht im Wesentlichen aus einem kleinen Flügelrade, welches durch die Pressung der bewegten Luft um höchstens 160° aus seiner Lage gedreht wird, und aus einer Feder, deren Spannung jener Pressung das Gleichgewicht hält. Die Hemmung bei ungefähr 160° hat den Zweck, die Biegung der Feder über die Elasticitätsgrenze zu verhüten. An der bei gewöhnlicher Stellung horizontalen Radaxe ist ein Zeiger

befestigt, dessen anderseitige Verlängerung parallel zur Axe umgebogen ist und gabelförmig in zwei Paar Stifte ausläuft, an welchen kleine Rollen angebracht sind.

Das Flügelrädchen nebst den damit verbundenen Theilen ist bei ruhiger Luft in jeder Lage im Gleichgewicht. In der Verticalebene der Radaxe ist vor dem Axenlager eine verticale gerade Feder mit dem unteren Ende befestigt, mit dem oberen Ende liegt sie leicht gleitend zwischen den Gabelrollen. Das befestigte Ende liegt ebenso tief unter der Radaxe, wie der Berührungspunkt des freien Federendes an dem inneren Rollenpaar über der Radaxe liegt.

Das Flügelrädchen ist mit einem breiten Ring umgeben, welcher jenes gegen Anstossen schützt und zugleich aussen wie innen die Scala der Geschwindigkeiten trägt.

Die Scala zeigt einige Kreislinien, auf welchen Temperaturgrade angedeutet sind, ferner schräge Querlinien, welche mit den Geschwindigkeitszahlen bezeichnet sind.

Dieses ist die von mir ursprünglich für die grade Feder gedachte Construction, entsprechend der nachfolgenden Theorie. Bis jetzt ist eine befriedigende Herstellung der Gabel mit den zwei Rollenpaaren noch nicht gelungen, wesshalb die Feder bei den ausgeführten Instrumenten einfach zwischen zwei Gabelstiften gleitet. Obgleich hiebei die gekrümmte Feder keinen Kreisbogen, sondern eine parabolische Curve bildet, so hat dieses doch wegen der von mir angewendeten praktischen Methode der Scalabestimmung mittels eines Pendelapparates keinen nachtheiligen Einfluss auf die Zuverlässigkeit des Instruments. Die angegebene Einrichtung ist bei jedem Anemometer doppelt vorhanden, nämlich mit einer schwachen und einer starken Feder, die nach Bedürfniss eingestellt werden. Gewöhnlich dient die schwache Feder zu Messungen von $1/2$ bis 3 Meter, die starke von 3 bis 12 Meter.

Gebrauch. Dieses Flügel-Anemometer ist hauptsächlich für Messungen der Luftgeschwindigkeit bei Ventilations-Anlagen bestimmt, wo horizontale, verticale und schräge Luftströme vorkommen. Will man die Geschwindigkeit eines Luftstroms messen, so hält oder stellt man, nachdem den Umständen entsprechend die schwache oder starke Feder eingestellt ist, das Anemometer so, dass die Radaxe in die Richtung des Luftstromes kommt, wobei man übrigens nicht ängstlich zu verfahren braucht, da kleine Abweichungen in der Stellung keinen bedeutenden Fehler veranlassen.

Je nachdem der Luftstrom die Richtung gegen den Beobachter hat oder die umgekehrte, bewegt sich der Zeiger nach links oder rechts;

er bleibt, wenn die Geschwindigkeit eine gleichmässige ist, sehr ruhig an einem Punkte der Scala stehen, den man nun leicht ablesen kann. Bei veränderlicher Geschwindigkeit des Luftstroms vibrirt natürlich der Zeiger, aber man kann dabei ohne Schwierigkeit die mittlere Geschwindigkeit schätzen.

Bei genauen Messungen muss man annähernd die Temperatur des Luftstromes kennen, also eventuell diese zuerst mittels eines Thermometers messen; man liest dann an demjenigen Ringkreise ab, welcher der Temperatur entspricht.

Den bei kleinen Geschwindigkeiten verhältnissmässig stark auftretenden Reibungswiderstand beseitigt man dadurch, dass man das Instrument ein wenig rüttelt oder mit einem Fingernagel auf die Fussplatte klopft.

Theorie. Der Winkel α, um welchen die Flügelebenen von der normalen Lage zur Radaxe abweichen, kann jeden Werth zwischen 0° und 90° haben; doch wird ein bestimmter Winkel der vortheilhafteste sein.

Die Pressung P des Luftstroms von einer Dichte, welcher das Gewicht p eines Cubikmeters entspricht, und von der Geschwindigkeit v auf die Gesammtflügelfläche F in der Drehungsrichtung ist nach §. 88:

$$P = \zeta\, F p \cos^2\alpha \sin\alpha \, \frac{v^2}{2g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (I$$

wobei ζ ein Erfahrungscoëfficient und g die Beschleunigung der Schwere ist.

Der vortheilhafteste Werth des Winkels α ist derjenige, für welchen die Function

$$\eta = \cos^2\alpha \sin\alpha$$

ein Maximum wird.

Der erste Differentialquotient ist

$$\frac{d\eta}{d\alpha} = \cos^3\alpha - 2\cos\alpha\sin^2\alpha$$

und wenn dieser gleich Null gesetzt wird, nach kurzer Entwickelung:

$$\cos\alpha\,(3\cos^2\alpha - 2) = 0$$

Für $3\cos^2\alpha - 2 = 0$ wird

$$\alpha = 35^0\; 15'\; 52''$$

Für diesen Werth wird der zweite Differentialquotient negativ, nämlich

$$\frac{d^2\eta}{d\alpha^2} = -\,2{,}1088$$

Mithin ist die Function

$$\eta = \cos^2\alpha \sin\alpha$$

für den Werth $\alpha = 35^0\ 15'\ 52''$ ein Maximum und zwar

$$\eta = 0{,}3849$$

Für die Berechnung des Druckes bei dieser Flügelstellung hätte man also die Gleichung

$$P = \zeta F p\ 0{,}3849 \frac{v^2}{2g} \quad \ldots\ldots \quad \text{(II}$$

Ist n der Abstand des Schwerpunktes einer jeden Flügelfläche von der Drehaxe, so ist $P.n$ das statische Moment der Windpressung: Ist ferner W der Widerstand der Feder und m die Entfernung des Angriffpunkts an der Feder von der Drehaxe, so ist $W.m$ das statische Moment des Widerstands. Für den Zustand des Gleichgewichts ist

$$P.n = W.m \quad \ldots\ldots \quad \text{(III}$$

Der Widerstand W der Feder ist allgemein

$$W = \varphi \frac{a\,b\,d^3}{l^3} \quad \ldots\ldots \quad \text{(IV}$$

worin φ ein Versuchscoëfficient, a die Ausbiegung der Feder am gleitenden Ende, b die Breite, d die Dicke und l die auf Biegung in Anspruch genommene Länge der Feder ist.

Befindet sich der Angriffspunkt des Widerstandes bei verticaler gerader Feder genau so weit über der Drehaxe als der Befestigungspunkt der Feder unter der Drehaxe, und gleitet das obere Federende zwischen zwei Rollenpaaren so, dass es immer radial gegen die Drehaxe gerichtet ist gleichwie das untere Ende, so bildet die gekrümmte Feder zwischen dem Befestigungspunkt und dem inneren Rollenpaar einen Kreisbogen, dessen äusserste Radien Tangenten jenes Kreises sind, nach welchem sich die inneren Rollen bewegen.

Man hat nach umstehender Fig. 91

$$a = r\,.\,\text{arc}\,\beta$$

$$l = r_1\ \text{arc}\,\beta = \frac{r}{\text{tang}\ {}^1\!/_2\,\beta}\,.\,\text{arc}\,\beta$$

Durch Substitution in Gleichung IV erhält man

$$W = \varphi \frac{b\,d^3\,\text{tang}^3\ {}^1\!/_2\,\beta}{r^2\ \text{arc}^2\,\beta} \quad \ldots\ldots \quad \text{(V}$$

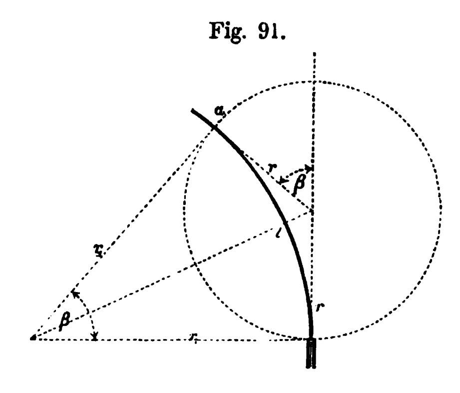
Die Gleichung der statischen Momente wird demnach für $P.n = W.m$

$$\zeta F p\ 0{,}3849 \frac{v^2}{2g}\, n = \varphi \frac{b\,d^3\,\text{tang}^3\ {}^1\!/_2\,\beta}{r^2\,\text{arc}^2\,\beta}\, m \quad \ldots \quad \text{(VI}$$

Aus dieser Gleichgewichtsgleichung könnte bei Vernachlässigung des sehr geringen Reibungswiderstandes die Scala berechnet werden,

wenn die Coëfficienten ζ und φ genau genug bekannt wären. Da dieses zur Zeit nicht der Fall ist, so muss für eine bekannte Geschwindigkeit die Zeigerstellung, also der Winkel β experimentell gefunden werden; dann kann man die Scala weiter nach Verhältnisszahlen berechnen.

Fig. 91.



Ist v die bekannte, v_1 irgend eine andere Geschwindigkeit und sind W und W_1 die Widerstände für die entsprechenden Ausbiegungswinkel β und β_1, so ist für gleiche Dichte der Luft

$$v : v_1 = \sqrt{W} : \sqrt{W_1}$$

$$v : v_1 = \frac{\sqrt{\operatorname{tang}^3 \frac{1}{2} \beta}}{\operatorname{arc} \beta} : \frac{\sqrt{\operatorname{tang}^3 \frac{1}{2} \beta_1}}{\operatorname{arc} \beta_1}$$

$$v_1 = \frac{v \operatorname{arc} \beta}{\sqrt{\operatorname{tang}^3 \frac{1}{2} \beta}} \times \frac{\sqrt{\operatorname{tang}^3 \frac{1}{2} \beta_1}}{\operatorname{arc} \beta_1}$$

Der erste Bruchfactor des Products liefert einen bestimmten Zahlenwerth N; man kann also nach der Gleichung

$$v_1 = N \frac{\sqrt{\operatorname{tang}^3 \frac{1}{2} \beta_1}}{\operatorname{arc} \beta_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{(VII}$$

die Geschwindigkeit v_1 für jeden beliebigen Winkel β_1 zwischen 0^0 und nahezu 180^0 berechnen und auf dem Scalakreis bezeichnen.

Zur Auffindung der Zahl N, also auch des Winkels β für die Geschwindigkeit v, sowie zur weiteren Feststellung oder Controlirung der Scala kann man sich eines Pendelapparates bedienen, da die Geschwindigkeit im Scheitel des Schwingungsbogens der Fallhöhe entspricht.

Die nach Obigem durch Rechnung oder experimentell gefundene Scala würde, wie aus der Specialgleichung der statischen Momente (Gl. VI) ersichtlich ist, nur für den vorläufig als constant angenommenen Werth von p richtig sein, während jedoch p nach den verschiedenen zufälligen Bestandtheilen der Luft, nach dem Barometerstand und nach der Temperatur veränderlich ist.

Man könnte nun die Scala für normale Luft auftragen und in jedem einzelnen Falle der Messung für andere Verhältnisse die richtige Geschwindigkeit aus der abgelesenen berechnen. Da sich aber die Scala für die unmittelbare Ablesung mit Berücksichtigung e i n e s der genannten

Einflüsse einrichten lässt, und da das Anemometer für Messungen bei Ventilationsanlagen bestimmt ist, wo die Verschiedenheiten der Luftzusammensetzung und des Barometerstandes vernachlässigt werden dürfen, die Temperaturverschiedenheiten dagegen von grossem Einfluss sein können, so ist es zweckmässig, die Scala zur Ablesung der Geschwindigkeiten für die verschiedenen Temperaturen einzurichten.

Es fragt sich nun:

Wenn die Geschwindigkeitsscala für Luft von 0° Temperatur aufgetragen ist und die Zeigerstellung eine Geschwindigkeit v aufweist, welche Geschwindigkeit x ist anstatt v zu setzen bei der Temperatur t des Luftstroms?

Ist p das Gewicht von 1 Cubikmeter der Luft bei 0°, so ist es $\frac{p}{1 + 0{,}003\,66\,t}$ bei t^0 Celsius.

Für gleiche Zeigerstellung unter beiden Temperaturen, also für gleiche Luftpressung hat man die Gleiehung:

$$p \cdot v^2 = \frac{p}{1 + 0{,}003\,66\,t}\,x^2$$

also

$$x = v\sqrt{1 + 0{,}003\,66\,t} \quad . \; . \; . \; . \quad \text{(VIII}$$

Wäre für Luft von 0° beispielsweise richtig $v = 6$ m und der Zeiger stände in einem Luftstrom von 100° C. auf demselben Punkte, so müsste die richtige Geschwindigkeit in letzterem Falle sein:

$$x = 6 \,.\, \sqrt{1 + 0{,}003\,66 \,.\, 100} = 7{,}01 \text{ m}$$

Hieraus ist ersichtlich, dass bei Anemometerbeobachtungen bedeutende Temperaturverschiedenheiten nicht unberücksichtigt bleiben dürfen.

Man kann nun zunächst in den für 0° provisorisch aufgetragenen geraden Querlinien und zwar auf einigen Temperaturkreisen die berechnete Geschwindigkeit x für gewisse Temperatur-Intervallen auftragen und dann die gleichen Geschwindigkeitszahlen durch schräge Linien verbinden.

Vorzüge dieses statischen Flügel-Anemomoters anderen Anemometern gegenüber.

Die in §. 89 aufgezählten acht Anforderungen sind bei diesem Anemometer erfüllt; doch dürften folgende Vorzüge besonders hervorzuheben sein.

1) Es lässt sich mit gleicher Zuverlässigkeit für die Messung horizon-

taler, verticaler und schräger, sowie vorwärts und rückwärts gerichteter Luftströme benutzen.

2) Es lässt in jedem Moment die Richtung und Geschwindigkeit des Luftstroms, also auch plötzliche Stillstände und Rückstösse erkennen.

3) Es ist für alle bei Ventilationsanlagen vorkommenden Geschwinkeiten ausreichend.

4) Die Ablesung der Geschwindigkeiten kann unmittelbar mit wünschenswerther Genauigkeit unter Berücksichtigung der Temperatur gemacht werden.

5) Das Instrument ist so einfach, dass störende Veränderungen nicht leicht vorkommen und Jedermann dasselbe verstehen und richtig anwenden kann.

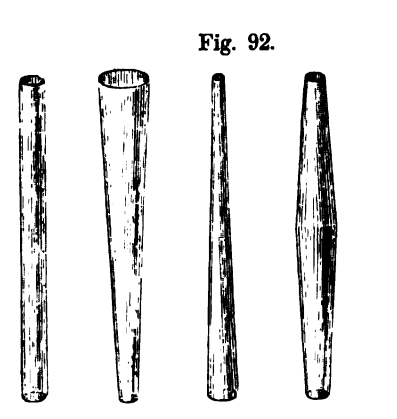
§. 91.

Die Formen der Luftleitungsröhren.

Die folgenden Untersuchungen sollen dazu dienen, die zweckmässigste Form der Luftleitungsröhren unter verschiedenen Umständen zu erkennen.

Als die principiellen Formen aller Röhren gelten die cylindrische oder prismatische, überhaupt die Röhre mit durchaus gleichem Querschnitte, dann die oben erweiterte und die oben verengte Röhre. Diese kommen in der That bei Feuerungs- und Lüftungsanlagen vor. Ausserdem findet man für dieselben Zwecke noch verschiedenartige Zusammensetzungen, welche durch die in der Mitte erweiterte und die in der Mitte verengte Röhre repräsentirt sind (Fig. 92). Diese fünf Röhrenformen sollen nun zur Betrachtung kommen. Hiebei werde angenommen, dass die untere oder obere Mündungsgrössse bereits durch bestimmte Umstände festgestellt sei. Es fragt sich nun, welche dieser Röhrenformen anzuwenden ist, wenn man in einer gewissen Zeit die grösste Luftmenge durch die Röhre führen will.

Fig. 92.



Da die Bewegung der Luft durch Störung des Gleichgewichts derselben veranlasst wird, die Störung des Gleichgewichts aber sowohl durch Temperaturdifferenzen bei gleichbleibender Spannkraft, durch relative Luftverdünnung, als auch durch Compression und Expansion ohne Veränderung des Wärmegehalts, durch absolute Verdichtung und Verdünnung der Luft verursacht sein kann, so wird auch bei der Luftleitung auf diese Umstände Rücksicht zu nehmen sein. In allen diesen Fällen soll hier vorausgesetzt werden, dass durch Ansätze von entsprechender Form und Weite an den Zuflussmündungen die Contraction vermieden sei.

§. 92.

Die durch Temperaturdifferenzen veranlasste Bewegung der kälteren Luft in verschiedenen Röhren.

Jede der in Fig. 92 dargestellten Röhren sei von warmer Luft umgeben, aber selbst mit kalter Luft gefüllt; sie werde auch durch beständigen Zufluss von oben mit kalter Luft gefüllt erhalten. Der abwärtsgerichtete Druck auf die Lufttheilchen an der unteren Mündung ist in allen Röhren derselbe. (Hydrostatisches Paradoxon, §. 14.)

Ist allgemein G das Gewicht der Volumeneinheit z. B. von 1 Cubikcentimeter der äusseren wärmeren Luft, G_1 das Gewicht der Volumeneinheit der kälteren Luft in der Röhre, ferner H die Höhe einer jeden Röhre, so ist der zunächst an jeder unteren Mündung abwärtsgerichtete Druck für die Flächeneinheit, z. B. für 1 Quadratcentimeter, wenn man zugleich den Druck der über der Röhre befindlichen Luft, auf die Flächeneinheit bezogen, mit D bezeichnet: $D + G_1 . H$. Dagegen ist der an jeder unteren Mündung aufwärts gerichtete Druck für die Flächeneinheit: $D + G . H$. Der erstere Ausdruck ist jedenfalls grösser als der zweite, weil G_1, für die kältere Luft angenommen, grösser ist, als G. Der resultirende Druck ist folglich wie der erste abwärts gerichtet und hat die Grösse:

$$D + G_1 H - D - G H = H (G_1 - G).$$

Denselben Druck erleiden auch die Lufttheilchen in der Flächeneinheit an der oberen Oeffnung der Röhren; der abwärtsgerichtete Druck daselbst ist freilich zunächst nur D, aber der aufwärtsgerichtete ist auch geringer als vorhin, weil ein Theil von jenem durch den Druck der kalten Luftsäule aufgehoben wird; man hat nämlich als den nach oben gerichteten Druck an der oberen Oeffnung $D + G H - G_1 H$

und somit als den resultirenden Druck nach unten für die Flächeneinheit an jeder oberen Oeffnung:

$$D - D - GH + G_1 H = H(G_1 - G)$$

Das ist derselbe Druck wie an der unteren Mündung.

Man betrachte noch den Druck in irgend einem Querschnitte, etwa in der halben Höhe der Röhren, daselbst hat man den abwärtsgerichteten Druck $D + G_1 \cdot \frac{1}{2} H$ für die Flächeneinheit und den aufwärts gerichteten Druck $D + GH - G_1 \cdot \frac{1}{2} H$; alsdann wird auch hier in der Mitte der resultirende Druck nach unten für die Flächeneinheit:

$$D + \tfrac{1}{2} G_1 H - D - GH + \tfrac{1}{2} G_1 H = H(G_1 - G)$$

Auf diese Weise erkennt man, dass jedes Lufttheilchen in jeder Röhre mit der gleichen Kraft nach unten gepresst wird.

Da für jedes Lufttheilchen im oberen Theile der Röhren schon derselbe Druck resultirt wie in dem unteren Theile, so könnte man zu dem Gedanken veranlasst sein, dass die Ausflussgeschwindigkeit an der unteren Mündung eine grössere werden müsse, als die, welche jenem Drucke entspricht, nach dem Gesetze nämlich, dass ein Körper, auf welchen in derselben Richtung eine constante Kraft wirkt, eine beschleunigte Bewegung annimmt, weil er vermöge der Inertie allein schon mit der einmal angenommenen Geschwindigkeit sich fortbewegen müsste. Im vorliegenden Falle muss die Anschauung eine andere sein, weil der constante Druck nur durch die Fortpflanzung verschiedener Druckkräfte entsteht. Man betrachte z. B. den Vorgang in der cylindrischen Röhre. Würden wirklich die Lufttheilchen und Luftschichten mit beschleunigter Bewegung nach unten fliessen, so könnte der Druck, wenn man zunächst von der Spannkraft der Luft absieht, von den oberen Lufttheilchen nicht mehr auf die tieferen fortgepflanzt werden, weil diese sich von jenen entfernt haben; der einseitige Druck von unten müsste aber wieder eine rückgängige Bewegung veranlassen. Mit Berücksichtigung der Spannkraft ergiebt sich Aehnliches: durch die schnellere Bewegung der Lufttheilchen in der Röhre müsste in derselben absolute Luftverdünnung entstehen, die Spannkraft der Luft wäre an der unteren Mündung am geringsten, die äussere Luft müsste mit Gewalt unten in die Röhre einfliessen und von einer regelmässigen Bewegung könnte nicht mehr die Rede sein.

Wollte man aber, um diese absolute Luftverdünnung zu verhüten, die Röhre der zunehmenden Geschwindigkeit proportional verengen, so würde die Wirkung der Inertie, mit welcher sich die Lufttheilchen vertical abwärts bewegen müssten, dadurch aufgehoben, dass die Luft-

theilchen, die nicht vertical über der unteren Oeffnung sich befinden, in ihrer verticalen Bewegung durch die schräge Wand gehindert werden und nun gegen die Mitte gedrängt auch die übrigen Lufttheilchen in der verticalen Bewegung durch Seitenpressung hindern.

Demnach wird die Geschwindigkeit nirgends eine grössere werden können, als die, welche sich nach dem resultirenden Drucke wie früher (§. 24 u. 25, §. 67) angegeben, für die untere Mündung berechnen lässt. Geringer jedoch kann die Geschwindigkeit sein und überhaupt verschieden in verschiedenen Höhen je nach der Form der Röhre.

Bei der Röhre mit parallelen Wänden ist die Luftbewegung eine gleichförmige, weil bei derselben Geschwindigkeit durch jeden höher liegenden Querschnitt eine ebensogrosse Luftmasse fliesst, wie in derselben Zeit unten ausfliesst. Dabei bewegen sich aber nicht alle Lufttheilchen mit gleicher Geschwindigkeit, weil die längs der Wandungen sich bewegenden durch Adhäsion und Reibung gehemmt werden.

Bei der oben erweiterten Röhre wird die Geschwindigkeit nach unten immer bedeutender; doch berechnet sich die theoretische Geschwindigkeit an der unteren Oeffnung nicht grösser als bei der Röhre mit parallelen Wänden, weil der Druck auf die Lufttheilchen daselbst nicht grösser ist. Die wirkliche Ausflussgeschwindigkeit und Ausflussmenge ist jedoch grösser als bei gleicher Mündung der Röhre mit parallelen Wänden, weil in den weiteren Röhrentheilen die Reibungswiderstände geringer sind. Da die in der Zeiteinheit durch irgend einen Querschnitt gehende Luftmenge der in der Zeiteinheit durch den untersten Querschnitt gehenden, unten ausfliessenden Luftmasse gleich sein muss, so folgt, dass sich in verschiedenen Höhen der oben erweiterten Röhre die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Querschnitte verhalten. Wenngleich jedes Lufttheilchen in den grösseren Querschnitten vermöge des auf dasselbe wirkenden Druckes sich eben so schnell bewegen müsste wie an der unteren Oeffnung, so kann doch dieser Umstand hier nicht zur Geltung kommen; die vertical abwärtswirkende Kraft in allen Lufttheilchen, welche nicht vertical über der unteren Mündung stehen, geht an den Röhrenwänden verloren, d. h. sie bewirkt eine Pressung der Wand anstatt Vergrösserung der Geschwindigkeit.

Bei der oben verengten Röhre wirkt auf alle Lufttheilchen, wenn die Röhre mit kalter Luft gefüllt ist, ein gleicher Druck vertical abwärts. Demnach kann man annehmen, dass sich momentan sämmtliche Lufttheilchen mit der gleichen, diesem Drucke entsprechenden Geschwindigkeit auch vertical abwärts bewegen. Wäre die Luft nicht elastisch,

so müsste sogleich an der inneren Röhrenwand ein luftleerer Raum entstehen, weil die aus den engeren Querschnitten herabsinkenden Luftschichten die weiteren Querschnitte nicht mehr ausfüllen. Nun kann zwar die Luft vermöge ihrer Elasticität den grösseren Raum ausfüllen, allein doch nicht ohne absolut verdünnt zu sein. Das müsste sie aber hauptsächlich an der unteren Mündung werden, und dann würde eine Menge der äusseren Luft daselbst eindringen, oder die bereits im ersten Moment ausgeflossene Luft wieder zurückdrängen. Eine gleichmässige Strömung wäre auf diese Weise nicht denkbar.

Vorstehendes folgt, wie erwähnt, aus der Annahme, dass die oben verengte Röhre mit kalter Luft gefüllt sei und dass sich sämmtliche Lufttheilchen auch nur momentan mit gleicher Geschwindigkeit herabbewegen sollen. Dass die Röhre sich vollständig mit kalter Luft füllt und während der Strömung so gefüllt bleibt, ist nur denkbar, wenn die Erweiterung nach unten nicht sehr bedeutend ist. Die Geschwindigkeit der Strömung in der Röhre muss alsdann im Verhältnisse der zunehmenden Weite abnehmen. Sehr leicht wird aber durch eine solche Röhrenform eine Doppelströmung veranlasst. Ein Theil der warmen Luft, welche sich unter der grossen Mündung befindet, dringt in die Röhre empor, wird allmählich von der kalten Luft wieder mit herabgerissen, während von Neuem warme Luft empordringt. Die Geschwindigkeit ist, wenn die Röhre theilweise mit warmer Luft gefüllt bleibt, nach der Mischungstemperatur zu berechnen, und dabei gilt die nach der früher angegebenen Gleichung berechnete Geschwindigkeit doch nur für den engsten Querschnitt, also für die obere Mündung.

Ist diese Röhre im Ganzen so eng, dass die untere Mündung nur eben so gross wie bei der gleichmässig weiten oder oben erweiterten Röhre ist, so ist natürlich die durchfliessende Luftmenge viel geringer, selbst wenn die Reibung in den engeren Theilen nicht in höherem Grade hinderlich auftreten würde.

Man erkennt hieraus, dass die oben verengte Röhre für die Luftzuführung nach unten nicht zweckmässig sein kann, wenn man einen möglichst ergiebigen Luftzufluss durch Temperaturdifferenzen zu erzielen sucht, und wenn dabei durch gewisse Umstände das Maximum der unteren Mündung bestimmt ist.

Kann man aber die untere Mündung beliebig gross machen und die nach Berechnung nöthige Mündungsgrösse oben anwenden, so ist die Verengung nach oben — in Bezug auf den massgeblichen Querschnitt hier besser mit Erweiterung nach unten bezeichnet — wegen verminderter Reibung im Allgemeinen vortheilhaft. Nur ist dabei wegen

möglicher Störungen durch Doppelströmung vorsichtig zu verfahren, die Erweiterung nicht allzugross zu machen, oder an dem sehr erweiterten Röhrenende eine Platte oder düsenartige Vorrichtung mit kleinerer Ausflussöffnung anzubringen. Dadurch geht man aber principiell auf die in der Mitte erweiterte Röhre über.

Betrachtet man die in der Mitte erweiterte Röhre, so erkennt man leicht, dass, wenn dieselbe einmal mit kalter Luft angefüllt ist, was übrigens leicht geschieht, die Erweiterung auf die theoretische Geschwindigkeit und Durchflussmenge keinen Einfluss hat, dass nur das Verhältniss der beiden Mündungen zur Berücksichtigung kommt. Die Erweiterung ist aber in Bezug auf Reibungsverminderung vortheilhaft. Demnach ist der Vorgang in dieser Röhre immer auf einen der drei schon behandelten Fälle zurückgeführt.

Bei der in der Mitte verengten Röhre gilt für den Theil über der Verengung der zweite der obigen Fälle, für den Theil unter der Verengung der dritte. Die Röhre kann desshalb nicht die Luftmenge liefern, welche nach der Druckhöhe durch die untere Oeffnung geliefert werden könnte.

Aus diesen Untersuchungen ergiebt sich folgendes Resultat: Um vermöge der Temperaturdifferenzen die kältere Luft vertical abwärts zu leiten, wähle man — wenn die Grösse der unteren Mündung dem Bedürfniss entsprechend festgestellt ist — nie Röhren, welche sich an irgend einer Stelle auf einen kleineren Querschnitt, als jener der unteren Mündung ist, verengen, sondern entweder erweiterte oder auch gleichmässig weite Röhren.

Sind die Röhren nicht vertical, sondern schräg, so gilt dasselbe; auch für horizontale Leitungsröhren oder Kanäle findet die grösste normale Geschwindigkeit nur im engsten Querschnitte Statt.

Somit erkennt man, dass überhaupt die Zuleitungskanäle der kalten Luft nirgends einen kleineren Querschnitt haben sollen, als an der Ausflussstelle, wenn man die Grösse der Oeffnung daselbst nach der in der Zeiteinheit zu erhaltenden Luftmenge mittels Division der Geschwindigkeit in diese Luftmenge bestimmt hat.

Der einfacheren Ausführung wegen wird man fast immer die gleichweiten Kanäle vorziehen. Erweiterungen können dadurch nachtheilig werden, dass durch den längeren Aufenthalt der kalten Luft in den wärmeren Kanälen sich die Temperatur der Luft erhöht; zuweilen kann jedoch diese Erwärmung erwünscht sein.

Allmähliche oder plötzliche Verengungen werden in Hauptkanälen bei Abzweigung von Nebenkanälen oft zweckmässig angebracht.

§. 93.

Die durch Temperaturdifferenzen veranlasste Bewegung der wärmeren Luft in verschiedenen Röhren.

Die Röhren sollen nun dazu dienen, warme Luft in kältere emporzuführen. Da sich alle erdenklichen Formen, wie auch die in der Mitte erweiterte und verengte Form auf die drei ersten vorhin betrachteten Grundformen zurückführen lassen, so genügt es, fernerhin auch nur diese zu betrachten.

Der in den Lufttheilchen zur Wirkung gelangende Druck an den Enden der Röhren, sowie in jedem beliebigen horizontalen Querschnitte ist wieder für die Flächeneinheit überall gleich, nämlich von der Grösse $H(G_1 - G)$, wenn man mit G_1 das Gewicht der Volumeneinheit der äusseren kälteren Luft, mit G das der wärmeren Luft in den Röhren, mit H die Druckhöhe bezeichnet. Der Druck von der Grösse $H(G_1 - G)$ wirkt nun bewegend auf die Lufttheilchen in der Richtung von unten nach oben.

Mit der diesem Drucke entsprechenden Geschwindigkeit können sich, von den gewöhnlichen Widerständen abgesehen, in der Röhre mit parallelen Wänden alle Lufttheilchen empor bewegen, weil sie nirgends in einen beschränkteren Raum überzufliessen genöthigt sind, und weil andererseits auch die aus einer horizontalen Schicht emporfliessende Luftmasse vollkommen genügt, um in anderem Horizont eine Schicht von derselben Höhe auszufüllen, während erstere selbst durch die aus einer gleich hohen Schicht mit derselben Geschwindigkeit nachfliessende Luftmenge vollständig ersetzt wird. Die Geschwindigkeit der Luftbewegung ist also auch hier bei der Röhre mit parallelen Wänden eine gleichförmige.

Ist die Röhre oben erweitert, so ist es nicht möglich, dass die Luft mit der gleichförmigen Geschwindigkeit emporfliessend zugleich ohne Verminderung der Spannkraft den weiteren Theil der Röhre ausfüllt.

Hat die warme Luft schon bei ihrem Eintritt in die Röhre eine bedeutende Geschwindigkeit erlangt, und ist die Erweiterung nur gering, so ist es immerhin möglich, dass die warme Luft die ganze Röhre ausfüllt und auch bei der im Verhältnisse des grösser werdenden Querschnittes abnehmenden Geschwindigkeit den Zufluss kalter Luft von oben in die Röhre nicht duldet. In diesem Falle wird durch die oben er-

weiterte Röhre wegen geringerer Reibung eine grössere Luftmenge abgeführt, wie durch die Röhre mit parallelen Wänden, wenn die unteren Mündungen, dann die übrigen Einflüsse, Temperatur und Druckhöhe dieselben sind. Ist aber die Erweiterung bedeutend, die Geschwindigkeit der Strömung selbst gering, so wird die kalte Luft nicht vollständig aus der Röhre verdrängt; sie wird grossentheils nur durch Reibung und Vermischung mit der warmen Luft emporgerissen und es fliessen immer wieder kältere Luftmassen von oben herab, so dass eine beständige Doppelströmung unterhalten bleibt. Der aufwärtswirkende Druck und somit die Geschwindigkeit an der unteren Oeffnung ist in diesem Falle geringer, als bei der Röhre mit parallelen Wänden, weil anstatt des Gewichts der Volumeneinheit der warmen Luft unter den angegebenen Umständen das grössere durchschnittliche Gewicht der beiden ungleich warmen Luftmassen in der Röhre bei dem abwärts gerichteten Drucke ein Factor ist, wobei dann die aufwärtsgerichtete Resultirende kleiner als im ersten Falle werden muss. Solchen Nachtheilen kann man durch Anbringen eines engeren Mündungsstücks am weiten oberen Röhrenende begegnen, dann ist in Rücksicht auf Reibungsverminderung die Erweiterung vortheilhaft.

Ist die Röhre oben verengt, so kann die warme Luft nur im engsten Querschnitte, also am oberen Ende mit der nach der Druckhöhe und den Temperaturunterschieden möglichen normalen Geschwindigkeit sich bewegen. Dadurch ergiebt sich eine bestimmte Ausflussmenge für die Zeiteinheit und die Zuflussmenge am unteren Ende der Röhre muss offenbar dieser Abflussmenge gleich sein. Erleiden auch die Lufttheilchen in den grösseren Querschnitten denselben vertical aufwärtswirkenden Druck, wie im engsten Querschnitte, so geht jener doch für eine grosse Luftmenge an der schrägen Röhrenwand in Bezug auf die Geschwindigkeit verloren. Die Verengung nach oben, in Bezug auf den oben anzubringenden nothwendigen Querschnitt als Erweiterung nach unten zu betrachten, ist der Reibung wegen, die in diesem Falle immerhin geringer ist als bei der gleichweiten Röhre vom Querschnitt der oberen Mündung, zweckmässig. Die Vergrösserung der Abkühlung bei den mehr als nöthig ausgedehnten Wandflächen der Röhren und Kanäle ist je nach Umständen in Erwägung zu ziehen.

Dass, wie man sich häufig vorstellt, durch Verengung der Röhre nach oben die Spannkraft der warmen Luft erhöht werde und sie desswegen schneller ausfliessen müsse, als wenn die ganze Röhre nur die Weite des oberen Querschnittes hat, kann nicht zugegeben werden, weil eine solche Erhöhung der Spannkraft

an irgend einer Stelle über die Spannkraft der übrigen Luft in demselben Horizont bei dem jeweiligen Luftdrucke augenblicklich eine Erhöhung der Spannkraft in der ganzen Röhre veranlassen würde. Mit welcher ausserordentlichen Schnelligkeit diese Ausgleichung der Spannkräfte geschieht, ist oben §. 75 gezeigt worden.

Wenn nun aber die ganze Luftmasse in der Röhre eine auch nur wenig grössere Spannkraft haben würde, als die Luft ausserhalb derselben, so müsste die eingeschlossene Luftmasse ebensowohl nach unten wie nach oben auf die Flächeneinheit einen gleichmässig vergrösserten Druck ausüben, das Zufliessen ebensosehr verhindern, wie das Ausfliessen beschleunigen, ja die Luft würde in noch grösserer Menge als oben durch die untere weitere Oeffnung ausfliessen, so dass bezüglich der zu entfernenden Luftmasse durch Erhöhung der Spannkraft, insofern diese durch die Pressung der Luft in den engeren Raum veranlasst werden soll, gewiss kein Vortheil erwachsen könnte.

Die aus den letzten Untersuchungen zu ziehenden Schlussfolgerungen sind folgende: *Die Röhre mit parallelen Wänden ist zweckmässig, wenn man warme Luft durch die Wirkung der Temperaturdifferenzen ableiten will.* Eine geringe Erweiterung nach oben ist vortheilhaft, ebenso unter manchen Umständen eine bedeutende Erweiterung, wenn durch Wiederverengung der oberen Ausflussmündung die Doppelströmung verhütet wird.

Die Verengung nach oben ist im Allgemeinen unzweckmässig, jedoch zulässig, wenn man die obere Mündung für die Berechnung der Ausflussmenge massgebend sein lässt, in welchem Falle die Röhre, als eine über das Mass des nothwendigen Querschnitts erweiterte, geringeren Reibungswiderstand veranlasst. Immerhin ist nicht zu übersehen, dass bei dieser Röhrenform das Anstossen der warmen Lufttheilchen gegen die convergirenden Wände begünstigt ist, wodurch Wärme und lebendige Kraft für die bewegte Luft verloren wird.

Um die Ausflussmengen zu bestimmen, ist der Querschnitt immer an der engsten Stelle der Röhre zu nehmen, wenn man als den anderen Factor der Ausflussmenge die nach der bekannten Formel (§. 68) berechnete Geschwindigkeit annimmt.

Bei schräg aufgeführten und auch bei horizontalen Röhrenleitungen der warmen Luft hat man in Betreff der Querschnitte dieselben Rücksichten zu nehmen. Ueberhaupt soll die *ausfliessende warme Luft nirgends veranlasst werden, von einem grösseren Querschnitte in einen kleineren überzufliessen*, man hätte denn dadurch besondere Zwecke zu erreichen, etwa einen Theil der

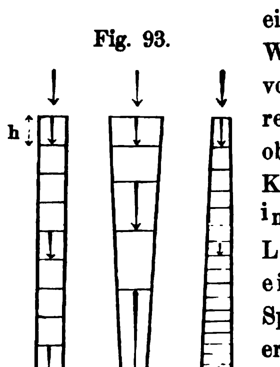
warmen Luft aus der Röhre ausfliessen zu lassen, nach anderer Richtung hinwegzuleiten u. dgl. (Rauchkammer, Luftheizung).

§. 94.

Die durch Compression veranlasste Luftbewegung in Röhren.

Drei Röhren von den in Fig. 93 dargestellten Grundformen seien mit Luft gefüllt, welche dieselbe Temperatur und Spannkraft hat, wie die äussere Luft über und unter der Röhre. Die Röhren brauchen jedoch hier nicht vertical angenommen zu werden, sondern können irgend eine andere Lage haben, können z. B. einem Winde entgegengerichtet gedacht werden; auch vollständig umgekehrt kann man sich die Röhren vorstellen und die Pressung von unten nach oben wirken lassen. Durch eine äussere Kraft, z. B. durch gleichmässigen Wind, werde in jede Röhre in der Zeiteinheit eine Luftschicht von der gleichen Höhe *h* eingepresst. Dadurch wird zunächst die Spannkraft der Luft an der gepressten Stelle erhöht; die Geschwindigkeit, mit welcher die Pressung von oben nach unten sich fortpflanzt, ist von der Grösse der Luftmenge abhängig, auf welche sich die Pressung vertheilt, sie ist also bei der unten verengten, convergirenden Röhre grösser, bei der unten erweiterten, divergirenden geringer, als bei der geraden Röhre. Gleiches gilt von der Geschwindigkeit, mit welcher die oben eingepresste Luft, durch die Röhren fliesst. Weil die Luftschichten von einem der zuerst gepressten Luftschicht gleichen Volumen den Querschnitten umgekehrt proportionale Höhen haben müssen, so folgt: Die Intensität der Strömung bleibt in der geraden Röhre gleich, nimmt aber nach unten zu oder ab, je nachdem der Querschnitt der Röhre nach unten kleiner oder grösser wird; es ist dieses durch die horizontalen Schichten und durch die entsprechenden Längen der Pfeile in der Figur angedeutet.

Fig. 93.



Da sich die Spannkräfte in den sich berührenden Luftschichten mit sehr grosser Geschwindigkeit ausgleichen (§. 75), so muss eine Luftmenge, welche gleich der oben eingepressten ist, fast gleichzeitig unten ausfliessen.

Wenn man nun die Grösse der unteren Mündung durch gewisse

Bedingungen bereits festgestellt hat, oder wenn man überhaupt diese so klein als für den jeweiligen Zweck zulässig ist, ausführen will, so ist es bezüglich der Menge der zuzuführenden Luft offenbar vortheilhaft, die Röhre nach oben hin zu erweitern; denn die zugeführte Luftmenge ist in den betrachteten Fällen dem Quadrate des Durchmessers der oberen Mündung proportional.

Bezeichnet man die eingepresste Luftmenge in den drei Röhren der Reihe nach mit M_1, M_2, M_3, die betreffenden Durchmesser mit d_1, d_2, d_3, die Höhe der eingepressten Luftschicht jedesmal als dieselbe Höhe mit h, so ist, wenn man die eingepressten Schichten als cylindrisch voraussetzt:

$$M_1 = \frac{d_1^2 \pi}{4} \cdot h$$

$$M_2 = \frac{d_2^2 \pi}{4} \cdot h$$

$$M_3 = \frac{d_3^2 \pi}{4} \cdot h$$

$$\text{folglich } M_1 : M_2 : M_3 = d_1^2 : d_2^2 : d_3^2$$

Soll, wie vorausgesetzt, in jede der drei Röhren in derselben Zeit eine gleich hohe Luftschicht eingepresst werden, so darf man doch nicht annehmen, dass die hiefür nothwendige mechanische Arbeit, auf die Flächeneinheit des Einpressungsquerschnitts berechnet, gleich gross, im Ganzen also der Grösse der gepressten Fläche, folglich auch dem Quadrate der Durchmesser oder Seiten proportional sei, mit anderen Worten, dass in den betrachteten Fällen eine der einzuführenden Luftmasse proportionale mechanische Arbeit aufgewendet werden müsse.

Die Geschwindigkeit, mit welcher diese Zuführung je nach der Grösse der Querschnitte, geschehen muss, ist dabei von wesentlicher Bedeutung.

Die mechanische Arbeit ist gleichwerthig mit der lebendigen Kraft, welche der bewegten Luftmasse ertheilt wird. Diese lebendige Kraft aber ist nach dem Ausdrucke

$$\frac{Mv^2}{2} \text{ oder } \frac{P}{2g} v^2$$

der Masse und der zweiten Potenz der Geschwindigkeit proportional.

Verhalten sich in den drei Röhren der Reihe nach die oberen Mündungen wie

$$1 : 4 : \frac{1}{4},$$

während die unteren gleich sind, und ist nach Figur die Schichthöhe $h = 1$ Meter und ebenso gross die secundliche Geschwindigkeit, mit welcher die Luft eingepresst wird, so verhalten sich die eingepressten Luftmengen wie

$$1 : 4 : 1/4$$

Als Geschwindigkeit v in dem Ausdruck der lebendigen Kraft ist immer die Geschwindigkeit an der engsten Stelle massgebend. Die Einpressungsgeschwindigkeiten sind zwar gleichmässig zu 1 Meter angenommen, aber bei der mittleren Röhre muss unten die Geschwindigkeit die vierfache werden. Hier verhalten sich demnach die Geschwindigkeiten an den engsten Stellen wie

$$1 : 4 : 1$$

Es verhalten sich also die mechanischen Arbeiten wie

$$1 \,.\, 1^2 : 4 \,.\, 4^2 : 1/4 \,.\, 1^2 \text{ oder wie}$$

$$1 : 64 : 1/4$$

Während in der ersten und dritten Röhre die gelieferten Luftmengen den mechanischen Arbeiten entsprechen, ist bei der mittleren Röhre zwar die gelieferte Luftmenge 4mal so gross als bei der ersten, aber mit einem 64fachen Aufwand von mechanischer Arbeit.

Es werde nun der für die Anwendung näher liegende Fall angenommen, dass die Ausflussmengen gleich sein sollen, dass sich also die bewegten Massen verhalten wie

$$1 : 1 : 1$$

Dann verhalten sich die Geschwindigkeiten an den engsten Stellen wie

$$1 : 1 : 4$$

und die mechanischen Arbeiten wie

$$1 : 1 : 16$$

Endlich denke man sich noch die Strömung umgekehrt, nämlich die Luft an den gleichen Mündungen eingepresst und an den ungleichen ausfliessend, dabei wieder gleiche Ausflussmengen verlangt. Dann verhalten sich die Geschwindigkeiten in den engsten Querschnitten wie

$$1 : 1 : 4$$

und die mechanischen Arbeiten wie

$$1 : 1 : 16$$

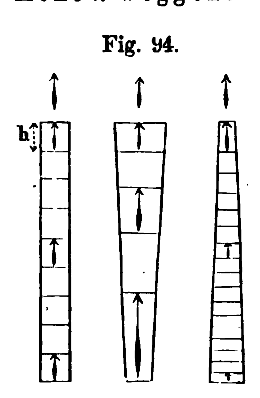
Hieraus erkennt man, wie unpraktisch es ist, verengte Röhren für mechanische Ventilation zu benützen, oder überhaupt durch kleine Querschnitte und grosse Geschwindigkeiten den nöthigen Luftwechsel herbeizuführen, oder herbeiführen zu wollen.

§. 95.

Die durch absolute Luftverdünnung veranlasste Luftbewegung in Röhren.

An der oberen Mündung der drei dargestellten Röhren (Fig. 94) werde in der Zeiteinheit eine Luftschicht von der Höhe h weggenommen. Dadurch wird zunächst die Spannkraft der Luft an dieser Mündung geringer. Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft aus den unteren Schichten emporgelangen muss, ist bei der oben erweiterten in der Stromrichtung divergirenden Röhre unten grösser, bei der oben verengten, in der Stromrichtung convergirenden unten kleiner als bei der geraden Röhre, so dass man hiebei wohl auch sagen kann, die Intensität der aufwärtsgehenden Luftströmung an der unteren Mündung und die Menge der in der Zeiteinheit durch die Röhren fliessenden Luft wachse mit der Erweiterung nach oben und nehme ab mit der Verengung nach oben. Ist die Röhrenweite an der unteren Mündung bereits festgestellt, so ist die oben erweiterte Röhre für die Abführung der Luft von grösster, die verengte Röhre von geringster Wirkung; denn es verhalten sich die in gleichen Zeiten abgeführten Luftmengen wie die Quadrate der Durchmesser an den oberen Mündungen. Es ist hiebei vorausgesetzt, dass durch eine äussere, sogenannte saugende Kraft in der Zeiteinheit eine Luftschicht von der bestimmten Höhe h aus einer jeden der drei Röhren hinweggenommen werde.

Fig. 94.



Um die hierfür aufzuwendenden mechanischen Arbeiten zu vergleichen, sollen sich zunächst die gleichzeitig oben abzusaugenden Luftmengen, der Figur entsprechend, verhalten wie

$$1 : 4 : \tfrac{1}{4}$$

folglich die Geschwindigkeiten an den engsten Stellen wie

$$1 : 4 : 1$$

Dann verhalten sich die mechanischen Arbeiten wie

$$1 \,.\, 1^2 : 4 \,.\, 4^2 : \tfrac{1}{4} \,.\, 1^2 \text{ oder wie}$$
$$1 : 64 : \tfrac{1}{4}$$

gerade so wie bei dem analogen Falle des Einpressens.

Der näher liegende Fall ist wieder der, dass die abgeführten Luftmengen gleich sein sollen, die Massen sich also verhalten wie

1 : 1 : 1

Verhältniss der Geschwindigkeiten an den engsten Stellen bei gleicher unterer Weite:

1 : 1 : 4

Verhältniss der mechanischen Arbeiten:

1 : 1 : 16

Wenn endlich die Strömung umgekehrt und bei gleichen Abflussmengen das Absaugen an den gleichen, das Nachfliessen an den ungleichen Oeffnungen stattfinden soll, ist das Verhältniss der Geschwindigkeiten in gleicher Weise an den engsten Querschnitten

1 : 1 : 4

und das Verhältniss der mechanischen Arbeiten

1 : 1 : 16

Die vorhin bei den Einpressungs-Vorgängen gemachte Schlussfolgerung gilt also in gleicher Weise beim Absaugen der Luft. Es mag nur noch beigefügt werden, dass, wenn die Grösse von einer der Mündungen durch Localverhältnisse bestimmt ist, eine Erweiterung der Röhre zweckmässig in Anwendung gebracht wird. Dieses ist zwar aus den obigen Zahlenverhältnissen nicht ersichtlich, folgt aber aus den früheren Untersuchungen über den Reibungswiderstand, auf welchen hier nicht Rücksicht genommen wurde, und welcher auch bei so grossen Differenzen der mechanischen Arbeiten von verhältnissmässig geringer Bedeutung ist.

§. 96.

Die durch die Luftströmungen in der Atmosphäre veranlasste Luftbewegung in Röhren.

Als äussere Kraft, welche an der oberen Röhrenmündung sowohl Pressung als Expansion veranlasst, kann man die Kraft des Windes benutzen. Wie gross die durch den Wind auf eine ihm entgegenstehende Fläche ausgeübte Pressung ist, zeigen die im §. 88 mitgetheilten Zahlen. Dass aber ein Luftstrom, wenn er in eine Röhre einzutreten gezwungen wird, die Luft in der Röhre presst, verdrängt, selbst durch die Röhre fliesst, ist an sich klar. Dass ferner auch der Wind durch Reibung und Ausbreitung eine ruhige Luftmasse in Bewegung setzt, indem er einen Theil dieser Luft unmittelbar mit sich reisst, dadurch aber Expansion, absolute Luftverdünnung

veranlasst, das ist in §. 74 und 75 durch theoretische Untersuchung und durch Experimente nachgewiesen.

Die Intensität des Windes können wir als die für die Flächeneinheit und Zeiteinheit gegebene und zu verwendende Grösse betrachten, können also einen erhöhten Effect erzielen, wenn wir die Röhrenmündungen, an welchen die einmal vorhandene und auf die Flächeneinheit gleichmässig wirkende Kraft des Windes zur Wirkung gelangt, entsprechend vergrössern. Da aber der Wind fast nie vertical abwärts oder aufwärts gerichtet ist, überhaupt nicht zu jeder Zeit dieselbe Richtung hat, so ist einleuchtend, dass die Erweiterung der Röhre nach oben ebenso nachtheilig bei der einen Richtung des Windes als vortheilhaft bei einer anderen Richtung wirken muss, wenn die Röhre den Zweck hat, entweder nur die innere Luft eines Raumes nach oben abzuführen oder nur in umgekehrter Richtung frische Luft einem Raume zuzuführen.

Es müssen desshalb an den Mündungen Apparate angebracht werden, welche je nach dem Zwecke der Röhre den Wind zwingen, in der Röhre eine Bewegung der Luft nach unten oder nach oben zu veranlassen. Die Principien, nach welchen solche Apparate einzurichten sind, werden weiter unten bei den Ventilationsanlagen zur Sprache kommen.

An den obigen Untersuchungen kann sich im Wesentlichen Nichts ändern, welche Lage auch immer die Röhren haben mögen, weil die durch Compression oder absolute Luftverdünnung verursachte Luftbewegung nicht, wie die durch relative Luftverdünnung, durch Wärme, veranlasste, eine gewisse Hauptrichtung des Luftstroms bedingt. Die Röhren oder Kanäle können eine verticale, schräge oder horizontale Lage haben, die Pressung oder Expansion kann an dem einen oder anderen Ende, oben, seitwärts oder unten veranlasst werden; die Mündungen der Röhren in den Räumen können in irgend einer Höhe angebracht sein, je nachdem die Richtung der Luftströmung anderen Verhältnissen entsprechen soll. Dieses ist bei Heizungs- und Ventilationsanlagen von Wichtigkeit und wird weiterhin zur Berücksichtigung kommen.

Fünfter Abschnitt.

Luftverderbniss und Gegenmittel.

§. 97.

Physiologische Wirkungen der gewöhnlichen Bestandtheile der atmosphärischen Luft.

Die in dem lebenden Organismus enthaltenen und theilweise dort erst erzeugten Luftarten müssen beständig gegen Bestandtheile der atmosphärischen Luft ausgetauscht werden, wenn die Lebensfunctionen keine Störung erleiden sollen. Für diese Wechselwirkung, welche mittels der Respiration vor sich geht, ist die Luft in der freien Atmosphäre vollkommen geeignet. Ungeeignet aber hiefür, verdorben muss die Luft genannt werden, wenn sie in ihrer Mischung eine solche Veränderung erlitten hat, dass sie auf den animalischen Organismus störend einwirkt. Diese nachtheilige Beschaffenheit der Luft kann durch die Entstehung eines abnormen Verhältnisses der ursprünglichen Bestandtheile der Luft verursacht sein, oder durch wirkliche Verunreinigung, durch Beimischung fremdartiger Bestandtheile. Der Process des Athmens hat mit dem Verbrennungsprocess unserer Leucht- und Brennmaterialien grosse Aehnlichkeit; Sauerstoff wird verbraucht, Kohlensäure und Wasserdampf erzeugt; daher erkennt man die auf gewöhnliche Weise herbeigeführte Verunreinigung der Luft sowie die Veränderung in Hinsicht der Quantität ihrer Bestandtheile, sobald eine solche Verschlechterung einigermassen bedeutend wird, an der Verminderung der Intensität einer Flamme, wie auch andererseits durch das Brennen von Flammen die Luft für das Athmen verschlechtert wird. Es wird nothwendig sein, die einzelnen wesentlichen und zufälligen Be-

standtheile der Luft, deren Entstehung und deren Einfluss auf die menschliche Lebensthätigkeit näher ins Auge zu fassen.

Wie in dem Meere des Erdballs Sauerstoff und Wasserstoff als Wasser, so sind ohne Zweifel Sauerstoff und Stickstoff in dem Luftmeere der Atmosphäre seit undenklichen Zeiten im bestimmten Verhältnisse vorhanden.

Der Sauerstoff ist für das Athmen der Menschen und Thiere, ebenso zum Brennen brennbarer Körper unumgänglich nothwendig. Desswegen nannte man den Sauerstoff früher auch Lebensluft, Feuerluft.

Sauerstoff ist für den Organismus nothwendig, um in dem mit den Ernährungssäften den Geweben des Körpers zuströmenden Material geeignete Zersetzungen und Verbindungen herbeizuführen, wodurch die Lebensäusserungen des Organismus, Wärme, Bewegung, Arbeit ermöglicht werden.

Dazu ist aber nicht die ganze Sauerstoffmenge erforderlich, welche bei normaler Luftbeschaffenheit beständig eingeathmet wird. Ohne wesentlichen Einfluss auf den Respirationsprocess kann der normale Sauerstoffgehalt der Luft von 21 Procent, nach übereinstimmenden Beobachtungsresultaten von W. Müller und von Regnault und Reiset, auf 14,8 Procent sinken, wenn die Athmungsluft dabei rein ist. Erst bei weiterer Sauerstoffverminderung stellen sich die Athemzüge in grösserer Anzahl und Tiefe ein, aber Athembeschwerden entstehen erst bei 7 Procent, und bei der Sauerstoffverminderung auf 3 Procent trat der Tod eines Thieres ziemlich rasch ein.

Daraus folgt das Unbegründete der Behauptung, das Einathmen kalter Luft sei besonders wünschenswerth, weil dabei das eingeathmete Volumen eine grössere Gewichtsmenge Sauerstoff enthalte.

Ebenso werden andererseits in Betreff der Wirkung sehr sauerstoffreicher Luft Behauptungen aufgestellt, die nicht genügend begründet sind.

Richtig ist, dass brennbare Körper in reinem Sauerstoff weit lebhafter verbrennen als in gewöhnlicher Luft. Da der Athmungsprocess gewisse Aehnlichkeit hat mit dem Verbrennungsprocess, so liegen die Folgerungen nahe, die man gemacht hat, dass nämlich die Einathmung von reinem Sauerstoff oder aussergewöhnlich sauerstoffreicher Luft grössere Lebhaftigkeit bewirke, auch die Kohlensäure-Ausscheidung steigere, aber einen entzündlichen Zustand der Lunge herbeiführe.

Einige Experimentatoren wollen dergleichen durch Versuche mit Thieren bestätigt gefunden haben, die Beobachtungen anderer Forscher sind damit im Widerspruch.

Regnault und Reiset, sowie W. Müller haben gefunden, dass die Respiration in reinem Sauerstoff gerade so vor sich geht, wie in gewöhnlicher atmosphärischer Luft, ohne dass an den Versuchsthieren sich irgend welche besonderen Erscheinungen erkennen liessen. Ferner fanden Regnault und Reiset, dass, wenn das Einathmen einer sehr sauerstoffreichen Luft einen Tag lang fortgesetzt wurde, der Betrag der mit der Exspiration ausgeschiedenen Kohlensäure kein höherer war, als für einen Tag, an welchem gewöhnliche atmosphärische Luft eingeathmet wurde.

Dieses erklärt sich auch ohne Schwierigkeit daraus, dass die Oxydation nur überhaupt das Vorhandensein des nöthigen Sauerstoffs verlangt, aber durch einen Ueberschuss von Sauerstoff keineswegs beschleunigt wird.

Der Stickstoff, die Hauptmasse der Luft bildend, wurde bei der vorhin erwähnten älteren Anschauungsweise consequent als nothwendiges Mittel angesehen, die allzu energischen Eigenschaften des Sauerstoffs zu mildern.

Es ist allerdings möglich, dass der Stickstoff bei dem Respirationsprocess sich nicht gänzlich passiv verhält, möglich, dass er eine physiologische Bedeutung hat, indem er verdünnend auf den Sauerstoff wirkt; aber nicht in dem Sinne, in welchem man das früher auffasste, als man glaubte, reiner Sauerstoff könne nicht ohne beträchtliche Störungen eingeathmet werden.

Beschleunigung des Athmens wird veranlasst sowohl durch Ueberhandnahme der Kohlensäure der Lungenluft, als auch durch Mangel an Sauerstoff.

Nach Ludwig (vgl. Gorup-Besanez, Physiologische Chemie, 1867) hat der Gehalt der Lungenluft an Kohlensäure, so lebensgefährlich er jenseits gewisser Grenzen ist, doch weniger Einfluss auf die Athembewegungen, als der Mangel an Sauerstoff. In verdünntem Sauerstoff wird eine zur Athembewegung nöthigende Abnahme des Sauerstoffs eintreten, bevor noch die Kohlensäure in einem zu hohen Grade sich angesammelt hat.

Die Anwesenheit des Stickstoffs in der Luft schliesst auf diese Weise den Kohlensäuregehalt des Körpers in engere Grenzen ein, und es ist wahrscheinlich, dass der Organismus, wie er der bestehenden Luftbeschaffenheit angepasst ist, bei dauerndem Aufenthalt in reinem Sauerstoff Störungen erleiden würde.

Im Stickstoffgase allein dagegen kann natürlich, wie aus den obigen Mittheilungen unmittelbar hervorgeht, weder animalisches Leben noch Verbrennung fortdauern.

Ebenso erlöschen brennende Körper augenblicklich, wenn man sie in Kohlensäure bringt. Erstickend wirkt die Kohlensäure, wenn sie von Menschen und Thieren in der Menge von etwa 9 Volumenprocenten mit Luft gemischt eingeathmet wird.

Befinden sich in einem von der äusseren Atmosphäre dicht abgeschlossenen Raume Menschen und Flammen, so können nach einiger Zeit die Menschen nicht mehr leben, die Flammen nicht mehr brennen; und das ist nicht sowohl die erstickende Wirkung des Stickstoffs, sondern vielmehr die Folge des Mangels an Sauerstoff und der Ueberhandnahme der Kohlensäure; jeder dieser letzten Umstände allein würde schon die gleiche Wirkung haben. Wenn aber genug Sauerstoff vorhanden ist, kann der Mensch bedeutende Mengen Kohlensäure ohne Nachtheil einathmen.

Nach Erismann und Anderen bekommen die Arbeiter in Bergwerken, wo die Luft oft grosse Quantitäten Kohlensäure enthält, erst dann Athmungsbeschwerden, wenn die Grubenlampen anfangen trüb zu brennen, was bei einem Kohlensäuregehalt der Luft von 3 bis 4 Procent der Fall ist.

Pettenkofer hat in einem Zimmer, in welchem der Gehalt der Luft an reiner, künstlich dargestellter Kohlensäure 10 pro Mille betrug, sich mehrere Stunden aufgehalten, ohne eine Aenderung seines Wohlbefindens zu erfahren.

In Beziehung auf das Wassergas in der Luft ist zu bemerken, dass solches, wenn nur die Luft sonst rein erhalten wird, und das Wassergas nicht selbst noch schädliche Substanzen mit sich führt, in bedeutender Menge vorhanden sein kann, ohne auf den Organismus störend einzuwirken. Eine sehr trockne Luft empfinden wir sogar unangenehm, weil dieselbe die Verdunstung beschleunigt, der Lunge und den Hautgefässen zu viel Wasser entzieht. Daher das Gefühl der Trockenheit, die wir namentlich an den Händen wahrnehmen, und das Gefühl des Durstes bei sehr warmer, trockner Witterung. Von einer vollständig oder nahezu mit Wassergas gesättigten Luft gilt das Gegentheil. Diese Luft vermag nicht die Feuchtigkeit von unserem Körper hinwegzunehmen, welche doch durch den Organismus ausgeschieden und vom Körper hinweggeführt werden muss, wenn die Thätigkeit der Organe nicht gestört werden soll. Grossentheils ist dieses die Ursache von dem drückenden beengenden Gefühle vor starken Gewittern. Zu solchen Zeiten ist die Luft gewöhnlich in hohem Grade mit Wasserdampf gesättigt, und die Condensation des Wasserdampfes, die Erscheinung des Gewitters ist die nächste Folge davon. Wie die Erfahrung lehrt und nach dem Obigen

leicht eingesehen wird, ist die ungefähr zur Hälfte mit Wassergas gesättigte Luft für die Gesundheit und zugleich für das Gefühl der Behaglichkeit am meisten geeignet.

§. 98.

Die durch den Lebensprocess erzeugte Menge von Kohlensäure und Wassergas.

Welche Mengen von Kohlensäure und Wasserdampf durch den Aufenthalt vieler Personen sich anhäufen können, davon kann man sich eine ungefähre Vorstellung machen, wenn man überlegt, in welcher Weise das menschliche Leben durch die atmosphärische Luft unterhalten wird. Ohne dass unsere Willensthätigkeit in Anspruch genommen wird, erweitert sich — in Folge einer von dem Mengenverhältnisse der Kohlensäure und des Sauerstoffs im Blute abhängigen Nerven- und Muskelthätigkeit — die Brusthöhle; die Spannkraft der in der Lunge enthaltenen Luft muss durch diese Ausdehnung geringer werden als die Spannkraft der äusseren Luft, in Folge dessen fliesst letztere so lange in die Lunge, bis sie bei unverminderter Spannkraft dieselbe füllt. So geschieht das Einathmen der Luft. Das Ausathmen erfolgt dadurch, dass wieder ohne unsere eigentliche Willensthätigkeit die Brusthöhle sich verengt, die in der Lunge zusammengepresste Luft vermöge ihrer grösseren Spannkraft in die äussere Luft überfliesst. Auf diese Weise athmen wir in der Minute gewöhnlich 16 bis 17 mal, und nehmen mit jedem Athemzug ungefähr $\frac{1}{2}$ Liter Luft in die Lunge auf. Die ausgeathmete Luft ist nicht mehr in dem Zustande wie die eingeathmete; ein Theil des Sauerstoffs wird in der Lunge zurückgehalten, dagegen wird eine mit mehr Kohlensäure und Wassergas vermischte Luft ausgeathmet. Die Menge der ausgeathmeten Kohlensäure ist nicht immer dieselbe; sie ist je nach der Individualität, nach Tageszeiten, nach der Beschaffenheit der Nahrung, nach der körperlichen Thätigkeit und nach den Bewegungen des Gemüths veränderlich. Verschiedene Beobachter haben in 100 Liter einmal ausgeathmeter Luft 3,3 bis 10 Liter Kohlensäure gefunden. Man darf durchschnittlich annehmen, dass eine Person in der Stunde bei etwa 1000 Athemzügen 500 Liter = 0,5 Cubikmeter Luft einathmet und ebensoviel Luft mit 4 Procent Kohlensäure also 20 Liter = 0,02 Cubikmeter Kohlensäure ausathmet.

Das stündlich ausgeathmete Wasser beträgt ungefähr 20 Gramm = 0,02 Kilogramm.

Der Mensch scheidet ausserdem auch durch die Poren der Haut am ganzen Körper Kohlensäure und Wasser aus. Die Kohlensäure-Ausscheidung durch die Haut ist jedoch verhältnissmässig gering, sie steigt nur selten bis auf $\frac{1}{100}$ der gleichzeitig ausgeathmeten Kohlensäuremenge. Dagegen ist die Menge des durch die Hautporen ausgeschiedenen Wassers bedeutend, immerhin nach den auf Schweissbildung wirkenden Umständen sehr verschieden, von 15 bis 80 Gramm in der Stunde wechselnd; sie kann durchschnittlich etwas grösser als die Wasserausscheidung beim Athmen angenommen werden, und zwar mit jener zusammen zu 50 Gramm = 0,05 Kilogramm, also in 24 Stunden zu 1,2 Kilogramm, was in tropfbarflüssigem Zustande 1,2 Liter Wasser ausmacht.

§. 99.

Kohlensäure und Wasser, erzeugt durch Beleuchtungsflammen.

Die Kohlensäure ist eine chemische Verbindung aus Sauerstoff und Kohlenstoff, wie das Wasser in tropfbarflüssigem und gasförmigem Zustande eine chemische Verbindung aus Sauerstoff und Wasserstoff. Unsere Leuchtmaterialien bestehen hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff, liefern daher mit Hülfe des Sauerstoffs der atmosphärischen Luft bei der Verbrennung Kohlensäure und Wasser. Zur quantitativen Bestimmung dieser chemischen Verbindungen, welche sich während der Verbrennung bilden müssen, dient die Kenntniss der *specifischen Gewichte* der einzelnen Grundstoffe und der Körper überhaupt, vereint mit der Kenntniss der *constanten Mischungsverhältnisse*, in welchen sich die einzelnen Grundstoffe zu *chemischen Verbindungen* einigen.

Die Beschaffenheit unserer Leuchtmaterialien ist bekanntlich sehr wechselnd; das gilt besonders für die Gasbeleuchtung. Die mittlere procentische Zusammensetzung des gewöhnlichen Leuchtgases, besser *Brenngas* genannt, kann man wie folgt annehmen:

7	Raumtheile	eigentliches Leuchtgas, d. i. schweres Kohlenwasserstoffgas,
56	„	Grubengas, leichtes Kohlenwasserstoffgas
21	„	Wasserstoffgas
11	„	Kohlenoxydgas
5	„	Stickstoffgas
100	Raumtheile	Brenngas.

Das specifische Gewicht eines solchen Gases ist 0,55.

Man könnte nun danach mit Hülfe der specifischen Gewichte und Mischungsgewichte der Bestandtheile berechnen, wie viel Kohlensäure und Wasserdampf durch Verbrennung eines bestimmten Quantums Gas erzeugt wird. Die sämmtlichen hiefür nöthigen Zahlenwerthe sind im ersten Abschnitt angegeben.

Ebenso kann man auch die Berechnung für jedes andere Brenn- und Leuchtmaterial anstellen, sobald die chemische Zusammensetzung des speciellen Materials bekannt ist.

Von der Durchführung solcher, zwar etwas ausgedehnter, aber keineswegs schwieriger Berechnungen mag hier um so mehr aus dem Grunde Abstand genommen werden, weil die Kohlensäure und das Wasser nicht als das eigentlich Schädliche in der Luft zu betrachten sind, und noch nicht feststeht, in welchen Verhältnissen die Kohlensäure oder das Wasser als Massstab für die durch die verschiedenen Flammen entstehende Luftverschlechterung zu betrachten ist.

Diese wird hauptsächlich durch unverbrannt entweichende Kohlenwasserstoff-Verbindungen verursacht und kann der Art und dem Grade nach sehr verschieden sein, was sowohl von dem Leuchtmaterial als von den Beleuchtungsapparaten und deren Behandlung abhängt.

Die in besonderen Fällen in Rechnung zu ziehenden Kohlensäuremengen können der folgenden, aus Versuchen von Erismann herrührenden Tabelle entnommen werden.

Beleuchtungsart.	Stündlicher Verbrauch.		Lichtstärke in Normalkerzen.	Stündliche Kohlensäure-Production. Liter.
	Gramm.	Liter.		
Petroleum-Spaltbrenner	35,5	0,045	10	56,8
Petroleum-Rundbrenner	50,5	0,064	7,6	61,6
Oellampe	22,4	0,025	ca. 4	31,2
Kerze	20,7	—	1	11,3
Steinkohlengas, Schnittbrenner	—	140	7,8	92,8
Steinkohlengas, Flachbrenner	—	127	10	86,0

§. 100.

Sonstige Ursachen der Erzeugung von Kohlensäure und Wassergas. Allgemeiner Kreislauf.

Nicht nur durch den animalischen Lebensprocess und die Verbrennung wird Kohlensäure und Wassergas erzeugt, sondern auch durch

mancherlei Verrichtungen im Hauswesen, in der Landwirthschaft und in den Gewerben. Kohlensäure ist auch Erzeugniss der faulen und der geistigen Gährung, ferner Product von tellurischen Processen; sie strömt an einigen Orten stark aus den Erdritzen hervor.

Das Wassergas in der Atmosphäre entsteht grösstentheils durch Verdunstung an ausgedehnten Oberflächen von Gewässern, besonders bei heftigem Winde, indem derselbe die unmittelbar über dem Wasser sich mit Dampf sättigenden Luftschichten hinwegführt und durch trocknere Luftmassen beständig wieder ersetzt, die mehr geeignet sind, neue Wassermengen in Gasform aufzunehmen. Hohe Temperatur ist der Verdunstung sehr förderlich; doch findet bei jeder Temperatur Verdunstung Statt; sogar Eis verdunstet unmittelbar.

Jedermann kennt den Kreislauf des Wassers auf unserem Erdball. Das Wasser, welches überall auf der Erde, am meisten aber aus dem Meere verdunstend sich durch Diffusion in der Luft verbreitet, bildet Wolken in der Atmosphäre und fällt als Wasser, Schnee oder Eis wieder herab, entweder unmittelbar wieder in das Meer, oder auf die feste Erdrinde, wo es theils wieder verdunstet, theils den Pflanzen zur Nahrung dient, theils in Quellen zum Vorschein kommt, welche in Bächen, Flüssen, Strömen vereinigt wieder dem Meere zufliessen.

Ein ähnlicher Kreislauf, wie zwischen dem Wasserdampfe und dem Wasser, besteht auch zwischen der Kohlensäure einerseits und dem Kohlenstoff und Sauerstoff andererseits.

Die grosse Menge Kohlensäure, welche die Organismen aller lebenden Geschöpfe des Erdballs an die Luft abgeben, wird von den Pflanzen absorbirt; die Pflanzen nehmen den Kohlenstoff zu ihrem Wachsthum und geben den Sauerstoff an die Atmosphäre zurück. Der Kohlenstoff der Pflanzen gelangt auf dem Wege der Ernährung wieder in unsere Körper und wir bilden aus ihm mit dem Sauerstoff, den wir wieder aus der Atmosphäre holen, von Neuem die Kohlensäure.

Ebenso wird bei der Verbrennung der Kohlenstoff des Brennmaterials mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure verbunden; diese Kohlensäure wird wieder zerlegt, indem der Kohlenstoff sich in neuen Pflanzenbildungen, also theilweise wieder zu neuem Brennstoff anhäuft, um sich beim Verbrennen wieder mit dem Sauerstoff zu Kohlensäure zu vereinigen.

Nichts auf dem Weltall wird in der That aufgezehrt, Nichts vernichtet. Verzehren, verbrennen, vernichten heisst nur in andere Gestalten umwandeln. Die Materie ist unzerstörbar wie die Kraft.

§. 101.

Zufällige Bestandtheile der Luft.

Von den vielen zufälligen Beimischungen der Luft, welche unter verschiedenen Verhältnissen bemerkbar und zum Thoil nachtheilig auftreten, sind besonders folgende zu erwähnen:

Ozon. In noch nicht hinlänglich aufgeklärtem Zusammenhange mit gewissen meteorologischen Erscheinungen kommt der Sauerstoff in einer veränderten Form vor, in einem eigenthümlichen, allotropischen Zustande, in welchem er sich auch unter Einwirkung der Elektricität und noch auf andere Weise künstlich darstellen lässt. Man riecht diesen allotropischen Sauerstoff zuweilen phosphorartig im Freien nach einem Gewitter. Schönbein gab ihm den Namen Ozon, das heisst riechender Stoff. Das Ozon wirkt beim Einathmen dem Chlor ähnlich, bleicht organische Stoffe, tritt überhaupt viel energischer auf als der gewöhnliche Sauerstoff. Durch starkes Sonnenlicht, noch schneller durch Berührung mit Kohle, oder durch Hitze verliert es seine eigenthümlichen Eigenschaften, wird geruchlos, in gewöhnlichen Sauerstoff umgewandelt.

Von hygienischer Bedeutung scheint das Ozon insofern zu sein, als es noch mehr als gewöhnlicher Sauerstoff die Eigenschaft besitzt, sich mit anderen Stoffen zu verbinden, dadurch andere Körper zu zerlegen, organische Verunreinigungen der Luft zu zerstören, und so die Atmospäre von Substanzen zu befreien, welche gesundheitsgefährlich werden könnten.

Als feinstes Reagens zur Nachweisung der geringsten Spuren von Ozon und auch zur annähernden quantitativen Ermittelung dient befeuchtetes Ozon-Papier.

Dieses wird angefertigt, indem man Stärkekleister mit etwas Jodkalium auf weisses Papier aufträgt. Jodkalium wird durch Ozon zerlegt, das Kalium vom Ozon gebunden, das Jod in Freiheit gesetzt, wobei dieses eine blaue Färbung des Papiers bewirkt, welche um so intensiver ist, je grösser der Ozongehalt der Luft. Man hat eine vom blassesten bis zum stärksten Blau fortschreitende Intensitätsscala ermittelt und in Farbendruck ausgeführt, durch deren Vergleichung mit dem Probepapier man auf die Procente des Ozongehalts schliessen kann.

In bewohnten Räumen ist Ozon niemals zu finden; ich habe viele Beobachtungen mit Ozonpapier angestellt, aber selbst im Freien vor den Fenstern keine, und in grosser Entfernung von Wohnungen nur selten schwache Spuren von Ozon gefunden.

Offenbar ein Irrthum ist es, wenn man, wie es in der Prospect-Broschüre einer der ersten Heisswasserheizungs-Firmen geschehen ist, dem Ozon eine wichtige Rolle bei Heizanlagen zutheilt, es das „eigentliche Lebenselement für den Menschen" nennt und behauptet, die Luftheizung müsse ungesund sein, weil bei ihr „die Zimmer mit solcher Luft angefüllt werden, die kein Ozon mehr enthalte"! —

Organische Bestandtheile; sie werden der Luft theils mit dem Wassergase durch die Ausdünstung der Menschen und Thiere, theils durch das Pflanzenleben, theils durch die Verwesung animalischer und vegetabilischer Körper mitgetheilt. Besonders an feuchten und dabei sehr warmen Stellen der Erdoberfläche bilden sich schädliche organische Substanzen. Diese theils aus thierischer, theils aus vegetabilischer Materie bestehenden Beimengungen der Luft enthalten immer fremdartige gasförmige oder doch zersetzbare und verdampfbare Bestandtheile. Da Luft, Feuchtigkeit und Wärme die Factoren der Fäulniss sind, so ist es erklärlich, dass solche organischen Theilchen in der Luft, besonders wenn sie in geschlossenen Räumen erzeugt und daselbst festgehalten, sich anhäufen können, allmählich sich zu Miasmen, ansteckenden Substanzen umwandeln, welche als Ursachen mancher Krankheiten anzusehen sind. Hierher gehören auch die Schwammbildungen in feuchten Gebäuden. Besonders schnell wird die Luft selbst in trocknen an und für sich gesunden Räumen durch krankhafte Ausdünstungen verdorben, zuweilen wahrhaft verpestet, weil da die Fäulniss der organischen Theilchen schon bei ihrer Ausscheidung aus dem Körper begonnen hat.

Der Luftstaub kann fast gänzlich zu den organischen Bestandtheilen gerechnet werden. Die unorganischen mineralischen Theilchen, wie feiner Sand, abgeriebene Theile vom Strassenpflaster u. dgl. sind wenig in der Luft verbreitet; nur durch heftigen Wind werden sie in einige Höhe und Entfernung getragen, fallen aber alsbald wieder zu Boden. Aehnliches gilt auch von den gröberen, sichtbaren organischen Staubtheilchen, zu welchen die Koththeilchen des Strassenstaubes und die Kohlentheilchen des Rauches gehören.

Am nachtheiligsten für die Gesundheit kann der Kohlenstaub werden, weil er mitunter scharfkantige Theilchen enthält, welche die zarten Lungengefässe, wenn jene so weit eindringen, verletzen können. Doch kommt solches nicht leicht vor, weil die Staubtheilchen auf dem Wege zu den Lungen an feuchten Wandungen hängen bleiben und auf bekannte Weise von Zeit zu Zeit beseitigt werden.

Die Luft ist aber ausserdem noch angefüllt mit sehr feinem Staub, welcher gewöhnlich nicht gesehen wird. Man nennt diese feinen leichten

Theilchen Sonnenstäubchen, weil sie gesehen werden, wenn man in ein finsteres oder schwach erhelltes Zimmer durch eine kleine Oeffnung das Sonnenlicht einfallen lässt. Von solchem Staub ist natürlich das ganze Zimmer erfüllt und nachgewiesenermassen findet sich solcher auch im Freien noch in grossen Entfernungen von menschlichen Wohnungen.

Kohlenoxydgas entsteht als Reductionsproduct bei unvollständiger Verbrennung; es kann bei schlecht eingerichteten oder schlecht gehandhabten Feuerungsanlagen der zu athmenden Luft beigemengt sein. Das Kohlenoyydgas ist frei von Geruch und Geschmack, erstickt, in bedeutender Menge eingeathmet, Menschen und Thiere.

Nach Cl. Bérnard reichen 0,6 Procent, nach Leblanc schon 0,54 Procent in der Einathmungsluft hin, um die Respirationsthätigkeit völlig aufzuheben. In weniger grosser Menge mit Luft gemischt erregt es Schwindel und Kopfweh. Sehr geringe Mengen Kohlenoxydgas können jedoch ohne Nachtheil eingeathmet werden, was schon der Umstand beweist, dass im Rauch einer jeden Cigarre Kohlenoxydgas in verhältnissmässig bedeutender Menge nachgewiesen werden kann.

Schwefelwasserstoff findet man in der Luft, wo mit schwefelhaltigem Brennmateriale gefeuert wird, dann in der Nähe von Schwefelquellen; Schwefelwasserstoff in Verbindung mit Ammoniak in und in der Nähe von Abtritten, Cloaken, Düngerhaufen. Diese Gase, sowie ferner die bei vielen Zersetzungsprocessen und gewerblichen Verrichtungen erzeugten Gase, als Kohlenwasserstoff, Phosphor- und Arsenikwasserstoff u. dgl. lassen sich leicht durch den Geruch wahrnehmen, führen übrigens schon in geringer Menge der Luft beigemischt, sehr schlimme Gesundheitszustände, unter Umständen den Tod herbei.

Bedeutende Mengen von Schwefelwasserstoff können durch die in neuerer Zeit viel benützte Schlackenwolle in die Wohnungen gelangen. Dieser Umstand soll wegen seiner besonderen Wichtigkeit in §. 102 ausführlich besprochen werden.

Auch die Verunreinignng der Luft durch solche Substanzen, welche man zur Vertreibung schlechter Gerüche anwendet, ist nicht unbeachtet zu lassen. Man bedient sich verschiedener Räuchermittel, die übrigens weniger den Zweck haben, die Luft für die Gesundheit zu verbessern, als vielmehr die Existenz in der verdorbenen Luft erträglich, behaglich, ja mitunter sogar reizend zu machen. Durch die gewöhnlichen Räuchermittel, wie Zucker, Wachholderbeeren, Wachholderholz, kölnisches Wasser, Räucheröl, Räucherkerzen u. s. w. sorgt man allerdings in gewissem Grade für Annehmlichkeit, indem dadurch das Vorwalten der schlechten Gerüche verhindert wird; allein von einer

antiseptischen, antimiasmatischen, desinficirenden Wirkung solcher Mittel kann keineswegs die Rede sein, verbessert, der Gesundheit weniger nachtheilig wird dadurch die Luft durchaus nicht; im Gegentheil, es wird dadurch der Gehalt der Luft an fremden Bestandtheilen nur noch erhöht, und die Luft wird immer durch Beimengung fremder Bestandtheile für den Athmungsprocess weniger geeignet.

Uebrigens giebt es auch desinficirende Substanzen, von welchen in §. 105 besonders gehandelt wird.

In unseren Wohnungen rührt die Luftverschlechterung gewöhnlich und hauptsächlich von den sogenannten organischen Effluvien her, flüchtigen Substanzen, welche mit der Kohlensäure und dem Wasserdampf bei der Respiration und Perspiration aus dem Körper ausgeschieden werden. Diese Luftverunreinigung ist qualitativ und quantitativ noch zu wenig erforscht, als dass man direct sagen könnte, wie viel davon ohne Nachtheil für die Gesundheit sich in einer Wohnung ansammeln darf.

Man nimmt nach Pettenkofer an, dass unter gewöhnlichen Verhältnissen die Menge dieser organischen Effluvien der Menge der zugleich ausgeschiedenen Kohlensäure proportional sei, und hat alsdann in dieser Kohlensäure, deren Quantität sich ohne grosse Schwierigkeiten ermitteln lässt, einen Massstab für die Luftverunreinigung und damit eine Grundlage für die Berechnung des nothwendigen Ventilationsquantums für eine bestimmte Anzahl von Menschen in einem geschlossenen Raume.

§. 102.

Luftverderbniss durch Schwefelwasserstoff aus Schlackenwolle.

Seit einigen Jahren — und noch in neuester Zeit, trotzdem dass ich bereits vor drei Jahren davor gewarnt habe (Deutsche Bauzeitung, Mai 1876) — wird Schlackenwolle von derselben Beschaffenheit wie früher fast für alle Fälle empfohlen, bei welcher man schlechte Wärmeleiter braucht; so für Umhüllung von Dampfleitungsröhren, für Hinterfüllung von Fensterbrüstungen, für Unterfüllung von Fussböden und zur Ausfüllung von anderen Hohlräumen. Wie nachtheilig dieses Material werden kann, wird sich aus Folgendem ergeben.

Die chemische Constitution der Schlackenwolle aus verschiedenen Hochöfen wird immer wesentlich die gleiche sein, da diese wollige Masse immer aus feinen glasartigen Röhrchen besteht, welche durch Einblasen von Dampf in einen Strahl flüssiger Eisenschlacken erzeugt werden.

Eine Probe der Schlackenwolle aus den Fr. Krupp'schen Werken enthält: Kieselsäure, Thonerde, Kalk, Eisen, Mangan, Magnesia, Schwefel, Spuren von Zink und Ammoniak; der Schwefel ist in beträchtlicher Menge vorhanden und an Calcium gebunden.

Der letzterwähnte Umstand ist Bedenken erregend, da das Schwefelcalcium bei gleichzeitiger Einwirkung von Wasser und Kohlensäure den Schwefel freigiebt, das Wasser zersetzt, dabei den Sauerstoff und die Kohlensäure bindet, während sich der Schwefel mit dem Wasserstoff vereinigt. So bildet sich kohlensaurer Kalk in der Schlackenwolle und Schwefelwasserstoffgas wird daraus frei.

Dass die Schlackenwolle immer Schwefelcalcium enthält, soll hiermit nicht behauptet werden; denn es wird ein Hochofenbetrieb denkbar sein, bei dem Brennmaterial, Erze und Zuschläge schwefelfrei sind. Auch können Fälle vorkommen, wo Schlackenwolle mit grossem Schwefelcalcium-Gehalt unbedenklich angewendet werden darf. Desshalb soll die Zweckmässigkeit der Verwendung der Schlackenwolle für Fussbodenfüllung u. dgl. nicht geradezu in Abrede gestellt, sondern nur auf die Nothwendigkeit grosser Vorsicht und der Vervollkommnung der Productionsweise hingedeutet werden.

Es mag sein, dass die Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas bei dem gewöhnlichen Gehalt der Luft an Feuchtigkeit und Kohlensäure nur unmerklich vor sich geht. Aber in unseren Häusern kommt die grosse Wassermenge hinzu, welche den verschiedenen Baumaterialien bei der Verarbeitung beigegeben werden muss und die allmählich wieder aus denselben entweicht; ferner die durch Respiration und Perspiration, auch durch Gasflammen u. dgl. erzeugte bedeutende Menge Wasser und Kohlensäure, wobei die Permeabilität der Wände und Decken bald von günstigem, bald von ungünstigem Einfluss sein kann. Besonders schlimme Umstände bestehen darin, dass bei dem Aufwaschen gewöhnlicher Bretterfussböden Wasser durch die Fugen in die Unterfüllung fliesst, ferner dass bei nicht sehr guter Construction der Fenster im Anschlusse an die Brüstungstäfelungen zuweilen Wasser von den Fenstern durch Fugen an den Fensterbrettern eindringt und hinter den Täfelungen herabfliesst oder sich in dem Hinterfüllungsmaterial ansammelt; endlich dass das Herabrinnen des Wassers von aufthauenden Fenstern auf den Fussboden nicht immer zu vermeiden ist.

Das durch die Fugen eingedrungene Wasser verbreitet sich alsbald durch die ganze Füllmasse, wenn solche aus fest gestopfter Schlackenwolle besteht, weil diese wie ein Schwamm das Wasser aufsaugt. Ist hierbei die Schlackenwolle schwefelcalciumhaltig, so werden bald die

bleiweisshaltigen Anstriche der Fussböden, Täfelungen und Wandsockel in Folge des Hervortretens von Schwefelblei Farbenänderungen erleiden, welche von den Fugen ausgehen und immer weiter um sich greifen.

Allein das ist das geringere Uebel; das grössere liegt in den Gefahren für Gesundheit und Leben.

Wird Schwefelwasserstoffgas auch nur in kleinen Mengen einige Zeit hindurch eingeathmet, so bewirkt es Uebelbefinden, Eingenommenheit des Kopfes, ein Gefühl von Betäubung; bei grösseren Mengen oder längerer Dauer Erschlaffung und schliesslich Lähmung des Blut- und Nervensystems, den Tod.

Kaninchen sterben nach wenigen Minuten in einer Luft, welche $^1/_{2000}$ Raumtheile Schwefelwasserstoffgas enthält. Dass man, wie in einem Zeugnisse hervorgehoben wird, durch Anwendung von Schlackenwolle zur Unterlegung von Fussböden und Ausfüllung hohler Zwischenräume von Ungeziefer, wie Mäusen, Käfern u. dgl., befreit wurde, ist demnach leicht erklärlich, aber in sanitärer Beziehung gewiss nicht erwünscht. Will man Schlackenwolle für solche Zwecke verwenden, wo keine Sicherheit für dauernde Trockenheit vorliegt, so muss dieselbe frei von Schwefelcalcium sein; man muss sie also im Zweifelfalle auf ihren Schwefelcalciumgehalt prüfen.

Dieses kann Jeder, auch ohne Chemiker zu sein, leicht ausführen.

Man füllt ein Trinkglas etwa zum vierten Theil mit gezupfter Schlackenwolle, giesst Wasser zu, bis dieses gerade über der Schlackenwolle steht, und träufelt einige Tropfen Essig ein. Der Schwefelcalciumgehalt wird sich sogleich oder doch nach Umrühren oder Umschütteln durch den Geruch nach faulen Eiern verrathen, da hier die Essigsäure ebenso wirkt wie von der Kohlensäure gesagt ist.

Will man sich sowohl von dem bedeutenden Wasseraufsaugungs-Vermögen der Schlackenwolle, als auch von der Entwickelung des Schwefelwasserstoff-Gases bei Einwirkung von Wasser und ausgeathmeter Luft überzeugen, mag man folgenden Versuch machen:

Man stelle einen etwa zur Hälfte mit Schlackenwolle gestopften Lampencylinder in ein etwas weites Glas, so dass die Schlackenwolle den Boden des Glases berührt, und giesse in das Glas, ausserhalb des Cylinders, in kleinen Mengen so lange Wasser ein, als dieses von der Schlackenwolle noch aufgesaugt wird. Etwa zu viel eingegossenes Wasser, welches ausserhalb des Cylinders stehen bleiben würde, schütte man wieder aus.

Dann schliesse man den Mund dicht an die obere Cylinderöffnung an und blase kräftig Luft ein; dabei gelangt ein Theil des Wassers

wieder in das Glas zurück, steigt aber gleich wieder in der Schlackenwolle empor. Dieses Aufsaugenlassen und Austreiben des Wassers wiederhole man mit kurzen Pausen 5 oder 6 mal und man wird einen eventuellen Schwefelcalciumgehalt durch den Geruch des Schwefelwasserstoffgases erkennen.

Hat man anfänglich einen reinen silbernen Gegenstand, etwa ein mit etwas feuchter Schlackenwolle blank geriebenes Markstück auf den Boden des Glases gelegt, so bemerkt man alsbald die Einwirkung des Schwefelwasserstoff-Gases durch gelbes Anlaufen des Silbers: dieses wird immer dunkler, in 24 Stunden blaugrün und schwärzlich, in Folge der Bildung von Schwefelsilber.

Bei diesen Experimenten hat man, um das Schwefelwasserstoffgas, dessen Menge nicht sehr gross ist, möglichst deutlich durch den Geruch erkennen zu können, die Wassermenge nicht grösser als angegeben zu nehmen, weil Wasser das $2^1/_2$fache Volumen jenes Gases absorbirt. Auch ist es zweckmässig, die Glasgefässe etwas zu erwärmen, wenn auch nur durch Umfassen mit der warmen Hand, weil das Schwefelwasserstoffgas ein ziemlich hohes specifisches Gewicht — 1,18 — hat und desshalb nicht leicht in den Gefässen emporsteigt, wenngleich es allmählich vermöge der Diffusion die Luft des Raumes bei jeder Temperatur nach allen Richtungen hin durchdringt.

Aus Obigem wird man den Schluss ziehen müssen, dass die Schlackenwolle erst dann eine ausgedehnte Verwendung im Hochbauwesen finden darf, wenn bei der Massenproduktion der Schwefel ausgeschieden oder doch so gebunden wird, dass die Entwickelung von Schwefelwasserstoffgas bei Einwirkung von Wasser und Kohlensäure nicht mehr möglich ist. Dass dieses nicht schwierig ist, geht aus den gemachten Mittheilungen hervor; wie es aber mit den geringsten Kosten zu bewerkstelligen sein wird, mag den Chemikern von Fach zur Untersuchung und Entscheidung anheimgestellt werden.

In England ist vor Kurzem ein Verfahren patentirt worden, wodurch dem Uebelstande der Entstehung von Schwefelwasserstoffgas abgeholfen sein, die präparirte Schlackenwolle zur Ausfüllung von Fussböden und Zwischenwänden unbedenklich verwendbar gemacht sein soll. Die Prüfung ist nach Obigem leicht vorzunehmen. Uebrigens ist die Zweckmässigkeit der Verwendung hiefür noch von anderen Rücksichten abhängig, von welchen bei der natürlichen Ventilation die Rede sein wird.

§. 103.

Bestimmung der Kohlensäure in der Zimmerluft.

Ziemlich genaue Resultate lassen sich mit der Pettenkofer'schen Methode der Kohlensäurebestimmung erhalten, worüber das Hauptsächliche nach Wolffhügel (Ueber die Prüfung von Ventilationsapparaten 1876; ferner Zeitschrift für Biologie 1877) im Folgenden angegeben wird.

Princip. Das Verfahren beruht auf der Absorption der Kohlensäure durch ein in Wasser gelöstes Hydroxyd eines Alkali-Erdmetalls und der Titrirung mittels Oxalsäure. Man setzt dabei voraus, dass ausser Kohlensäure die Luft keine andere Säure enthält.

Von der zur Absorption ursprünglich empfohlenen Kalkhydratlösung kam Pettenkofer aus verschiedenen Gründen bald ab und wendet seither eine Lösung von Barythydrat an.

Apparate. Um die Methode auszuführen, hat man nöthig:

1. Eine Anzahl Glasflaschen in der Grösse von 3 bis 6 Liter, welche bis zu ihrem Ausmündungsrande geaicht sein müssen.
2. Die zum Verschluss dieser Flaschen dienenden Gummikappen (sog. Glasdeckel).
3. Einen Blasebalg, von dem man ermittelt hat, welches Luftquantum er auf einen Stoss fördert.
4. Je eine Saugpipette zu 25 und 100 Cubikcentimeter.
5. Zwei Thermometer.
6. Ein Barometer.
7. Eine Bürette.
8. Eine Anzahl Glaskölbchen zum Titriren.
9. Einen Glasstab.

Titrirflüssigkeiten und Index. Das Barytwasser kann man sich in der nöthigen Stärke aus krystallisirtem Barythydrat oder durch Verdünnung eines damit gesättigten Wassers herstellen. Für Luftwechselbeobachtungen genügt es auf 1 Liter Wasser 7 Gramm krystallisirtes Barythydrat zu nehmen, in welcher Concentration auf 100 Cubikcentimeter Barytwasser zur Neutralisation 100 Milligramm Kohlensäure erforderlich sind. Ein geringer Zusatz von Baryumchlorid — die Umsetzung etwa vorhandener Alkalicarbonate zu den entsprechenden Alkalichloriden zu veranlassen — erfolgt am einfachsten zum Barythydrat vor der Lösung; es genügt das Baryumchlorid im Verhältniss von 1 : 20 Barythydrat zu nehmen.

Um die Veränderung des Titers zu verhüten, hat Pettenkofer seine Barytwasserflasche so eingerichtet, dass die Luft, welche für die entnommenen Flüssigkeitsmengen eintritt, zuvor ihre Kohlensäure in einer Vorlage von Bimsstein abgiebt, der mit concentrirter Natronlauge getränkt ist. Zu diesem Zwecke ist durch den doppelt durchbohrten Gummipfropfen der Flasche eine mit einem Quetschhahn abgeschlossene Heberröhre und eine zur Bimssteinvorlage führende Glasröhre gesteckt, und wird das zum Versuche nöthige Barytwasser mit der Saugpipette direct entnommen. Der Gummischlauch, in welchen die Heberröhre ausläuft, wird überdies mit einem Glasstöpsel verschlossen, und für Kohlensäurebestimmungen ausserhalb des Laboratoriums empfiehlt es sich, dass man zwischen der Flasche und der Bimssteinvorlage einen Quetschhahn einschaltet.

Die Oxalsäurelösung wird bereitet im Verhältnisse von 2,8636 Gramm krystallisirter Oxalsäure zu 1 Liter destillirten Wassers; 1 Cubik-Centimeter dieser Titerflüssigkeit entspricht genau 1 Milligramm Kohlensäure. Die Oxalsäure, welche man zur Bereitung der Lösung nimmt, muss chemisch rein sein, es darf ihr weder freies Wasser noch eine Spur von Verwitterung anhaften.

Als Index dient entweder der Zusatz von zwei Tropfen einer alkoholigen Rosolsäurelösung (1 Theil reiner Rosolsäure zu 500 Theilen 80-procentigen Weingeist), oder citronengelbes Curcumapapier, das mit schwedischem Filtrirpapier präparirt ist. Es ist bei letzterem Index sehr wesentlich, nicht den Reagenspapierstreifen einzutauchen, sondern mit einem Glasstab darauf einen Tropfen zu bringen. „Der Tropfen wird von seiner Peripherie aus eingesogen, seine ganze alkalische Wirkung concentrirt sich desshalb in der Peripherie.“

Verfahren. Die Bestimmung der Kohlensäure geschieht nun in folgender Weise:

Zur Aufnahme der Luftprobe und gleichzeitig als Mass derselben dient die geaichte Flasche. Dieselbe muss vollkommen rein und trocken sein, und darf keine andere Temperatur als der Versuchsraum haben; für die gewöhnlichen Beobachtungen des Luftwechsels stellt man die Flasche auf einen Tisch in der Mitte des zu untersuchenden Raumes. Man entnimmt die Probe, indem man mit dem Blasebalg Luft in die Flasche eintreibt, und darf annehmen, dass die Luftbeschaffenheit in der Flasche wie im Versuchsraume die gleiche geworden ist, wenn man etwa das Fünffache ihres Volumens eingeblasen hat. Sodann giebt man in die Flasche 100 Cubik-Centimeter Barytwasser, dessen Titer man kennt, verschliesst sofort luftdicht mittels einer Gummikappe, und

notirt die während des Versuches in der Nähe der Flasche und im Freien gefundene Lufttemperatur sowie den Barometerstand. Die Absorption der Kohlensäure wird gefördert, indem man das Barytwasser einige Male in der Flasche herumschwenkt, und kann nach etwa einer halben Stunde als beendigt angenommen werden.

Um den Niederschlag von Baryumcarbonat absetzen zu lassen, wird der Inhalt in eine kleinere Flasche (1/4 Liter) entleert, deren Hals zur Einführung der 25 Cubik-Centimeter-Pipette weit genug sein muss, und mittels eines Gummipfropfens verschlossen. Wenn sich die Flüssigkeit vollständig geklärt hat, hebt man vorsichtig mit der Pipette drei Proben ab, und titrirt, wie das C. Voit angiebt, die erste mit Rosolsäure und die übrigen mit Curcumapapier als Index. Selbstverständlich muss das Absaugen so geübt sein, dass dabei die Probe weder durch Speichel noch durch die Athemluft verunreinigt wird.

Berechnung. Die Differenz des Titers von 25 Cubik-Centimeter Barytwasser vor und nach dem Versuche entspricht nur einem Viertel der zur Kohlensäure-Absorption verwendeten 100 Cubik-Centimeter. Man muss daher dieselbe mit dem Quotienten 4 multipliciren, um die Menge der absorbirten Kohlensäure zu erfahren. Die so gefundenen Gewichtsmengen Kohlensäure rechnet man in Volumina um, und ermittelt das Verhältniss auf 1000 Theile Luft, indem das untersuchte Luftvolumen unter Abzug von 100 Cubik-Centimeter, welche das Barytwasser verdrängt hat, auf 0° Temperatur und 760 Millimeter Luftdruck reducirt, in Proportion gesetzt wird.

Die hier mitgetheilte Pettenkofer'sche Methode der Kohlensäurebestimmung ist, wie man leicht erkennt, nicht von jedem Arzt oder Techniker leicht in Anwendung zu bringen; sie erfordert gewisse Kenntnisse und Uebung im Manipuliren, ausserdem Zeitaufwand und einen etwas voluminösen Apparat, wenn auch die Zahl und Grösse der Flaschen reducirt wird.

In diesen Beziehungen verdient der „minimetrische" Apparat Erwähnung, welcher von Professor Dr. Lunge in Zürich (1877) in einer kleinen Schrift über die Ventilationsfrage beschrieben worden ist.

Mit einem solchen Apparate, den man in der Tasche tragen kann, ist es auch dem Nicht-Chemiker möglich, in einigen Minuten den Kohlensäuregehalt der Luft annähernd zu bestimmen. Das Verfahren macht nicht Anspruch auf wissenschaftliche Genauigkeit, ist aber gewöhnlich hinreichend für Ventilationszwecke.

Diese „minimetrische", vermuthlich zuerst von Angus Smith vor-

geschlagene Methode der Kohlensäurebestimmung beruht auf den zwei folgenden einfachen Sätzen:

1) Kohlensäure bringt in Kalkwasser (oder besser Barytwasser) einen Niederschlag von kohlensaurem Calcium (oder kohlensaurem Baryum) hervor;

2) dieser Niederschlag veranlasst in der klaren Lösung eine Trübung, welche deutlich erkannt wird, sobald sie einen gewissen Grad erreicht.

Es muss demnach eine gewisse Menge von Kohlensäure oder kohlensäurehaltiger Luft mit dem Kalk- oder Barytwasser in Berührung kommen, um die merkliche Trübung hervorzubringen. Je reicher an Kohlensäure die Luft ist, desto weniger davon ist erforderlich, damit in einem bestimmten Volumen der Lösung die Trübung entsteht; je reiner dagegen die Luft, ein um so grösseres Volumen derselben muss bis zur Hervorrufung der Trübung aufgewendet werden.

Lunge giebt zwei Verfahrungsarten an, um das erwähnte Factum für eine Ventilations-Controle zu verwerthen.

Die erste, einfachere Verfahrungsart, welche von Jedem gehandhabt werden kann, eignet sich mehr für die wiederholte Anwendung in demselben Locale, während die zweite von Aerzten oder Technikern, welche die Luft in verschiedenen Localen nach einander prüfen wollen, wegen der Kleinheit des Apparates vorgezogen werden dürfte, obwohl sie etwas mehr Manipulation erfordert.

Für die erste Verfahrungsart sind einige Flaschen mit weitem Halse, sogenannte Pulvergläser, nebst gut schliessenden weichen Korkstopfen nöthig und etwas Kalkwasser, welches man selbst bereiten oder billig in jeder Apotheke haben kann. Auch die Flaschen kann man da erhalten. Man nimmt z. B. sechs Flaschen von ungefähr

450, 350, 300, 250, 200 und 150 Cubik-Centimeter.

Zur Bequemlichkeit lasse man sich auf einer an einer Seite geschlossenen Glasröhre (Proberöhrchen, Reagircylinder) mit einer scharfen Feile einen Strich an der Stelle machen, bis wohin der Cylinder 15 Cubik-Centimeter Flüssigkeit fasst. Hierzu fehlt nur noch ein kleiner reiner Blasebalg, mit diesem ist der Apparat der ersten Art vollständig.

Das Verfahren damit ist folgendes:

Die reinen trockenen Flaschen füllt man mit der Luft des Zimmers, welches man auf seinen Ventilationszustand prüfen will, indem man mit dem Blasebalg einige Mal hineinbläst.

Dann giesst man in die kleinste Flasche 15 Cubik-Centimeter klaren, frischen Kalkwassers, setzt den Korkstopfen auf und schüttelt tüchtig um. Entsteht keine Trübung, so geht man ebenso verfahrend

zur nächst grösseren Flasche über und so weiter, bis eine deutliche Trübung entstanden ist.

Durch die Trübung in den Flaschen von

450 350 300 250 200 150 Cubik-Centimeter

wird angezeigt der Kohlensäuregehalt der Luft von ungefähr

0,5 0,7 0,8 1,0 1,2 1,6 pro Mille.

Der Apparat für das zweite Verfahren besteht aus nur einer Flasche nebst einer Kautschukbirne und einigen Röhren.

Die Flasche von ungefähr 50 Cubik-Centimeter Inhalt ist mit einem doppelt durchbohrten Kork- oder Kautschuckstopfen geschlossen. Durch die eine Bohrung ist eine Glasröhre gesteckt, welche bis nahe an den Boden der Flasche reicht und über den Stopfen etwas hinaussteht; hier ist ein kurzer, weicher Gummischlauch angesteckt. Durch die andere Bohrung geht eine knieförmig gebogene Glasröhre, welche in der Flasche dicht unter dem Stopfen endigt und aussen etwas vorsteht; daselbst wird ein 20 bis 30 Centimeter langer, weicher und dickwandiger Gummischlauch aufgesteckt, in welchen man einen als Ventil dienenden Schlitz von etwa 1 Centimeter Länge mit einem scharfen Messer macht. Dieser Schlauch ist mit einer birnenförmigen Kautschuckspritze verbunden, wie solche zu chirurgischen Zwecken gebraucht werden und in verschiedenen bestimmten Grössen käuflich sind. Eine solche rothe englische Spritze Nr. 1, was eine Unze englisches Flüssigkeitsmass bedeuten soll, hält etwas über 28 Cubik-Centimeter. Durch Zusammenpressen mit der Hand kann man jedesmal 22 bis 24 Cubik-Centimeter Luft austreiben. An der Flasche markirt man sich mit einem Diamantstrich ein- für allemal die Höhe von 7 Cubik-Centimeter eingegossener Flüssigkeit.

Verfahren. Durch einige leere Züge mit der Spritze sei die Flasche mit der Luft des Ortes gefüllt. Man giesst in die Flasche 7 Cubik-Centimeter klares Barytwasser von einer Lösung, welche etwa 6 Gramm Barythydrat auf 1 Liter enthält, dann setzt man den Stopfen dicht auf die Flasche und schüttelt gut um. Den Luftinhalt der Flasche lässt man als zwei Füllungen der Spritze gelten. Hiebei wird sich nur bei sehr kohlensäurehaltiger Luft schon eine Trübung bemerken lassen, gewöhnlich nicht.

Nun drückt man mit einer Hand das kurze Kautschuckröhrchen zu und presst mit der andern die Birne zusammen; die Luft entweicht durch das Spaltventil. Lässt man den kurzen Schlauch los und presst die Birne nicht mehr, so gelangt äussere Luft durch das Barytwasser hindurch in die Birne. Man schüttelt wieder und wiederholt das Ein-

pumpen so oft bis endlich die Trübung des Barytwassers deutlich zu erkennen ist.

Wie viele Füllungen der Spritze einem bestimmten Volumen von Kohlensäure in der Luft entsprechen, dabei immer der Raum der Flasche als zwei Füllungen mitgerechnet, ist aus folgender Tabelle zu entnehmen:

Tabelle
für den Gebrauch des minimetrischen Apparates zur Kohlensäure-Bestimmung in der Luft.

Entstehende Trübung entspricht

bei	4	Spritzenfüllungen	2,20	pro Mille Kohlensäure.
„	5	„	1,76	„
„	6	„	1,48	„
„	7	„	1,26	„
„	8	„	1,10	„
„	9	„	0,98	„
„	10	„	0,88	„
„	11	„	0,80	„
„	12	„	0,74	„
„	13	„	0,68	„
„	14	„	0,63	„
„	15	„	0,58	„
„	16	„	0,54	„
„	17	„	0,51	„
„	18	„	0,49	„

Wie Lunge auf Grund seiner genaueren vergleichenden Untersuchungen nach Pettenkofer's Methode mittheilt, besitzt die zuletzt beschriebene Methode für praktische Zwecke, wo es ja auf eine Ungenauigkeit von $^1/_{10000}$ Volumen nicht ankommt, vollkommen hinreichende Zuverlässigkeit.

§. 104.

Nachweisung des Kohlenoxyds in der Zimmerluft.

Kohlenoxyd in der Zimmerluft, oder in der den Zimmern zugeführten Heizluft, hat man nachzuweisen gesucht mittels Oxydation durch eine Chromsäurelösung; dann mittels Absorption durch eine Lösung von Kupferchlorür in concentrirter Salzsäure; ferner, indem man

die Luft nach Absorption von Wasser und Kohlensäure über glühendes Kupferoxyd leitete und die gefundene Kohlensäure auf Kohlenoxyd berechnete; endlich mittels einer säurefreien Lösung von Palladium-Natrium-Chlorür.

Diese Reagentien gewähren jedoch keine unbedingte Sicherheit der Resultate, mögen desshalb hier nur kurz erwähnt sein; sie lassen Täuschungen zu, ergeben den berechneten Kohlenoxydgehalt leicht zu gross, meistens desswegen, weil häufig in der Luft verschiedenartige unbekannte Kohlenwasserstoffverbindungen vorhanden sind, welche die gleiche Reaction geben wie das Kohlenoxyd.

Die Kohlenoxydfrage ist seit einigen Jahren wegen der gefürchteten Durchlässigkeit des glühenden Gusseisens für dieses Gas ein viel besprochener Gegenstand.

Wolffhügel, welcher sich eingehend damit beschäftigt hat, sagt in einer interessanten Abhandlung darüber:*)

> „Keine der bisher in der Kohlenoxydfrage zur Anwendung gekommenen Methoden ist im Stande, jenen überaus minimalen Kohlenoxydgehalt zu bestimmen, durch welchen die Luft eines mit glühendem gusseisernen Ofen geheizten Raumes nur verunreinigt sein kann.“

Dieser gelehrte Experimentator zieht, obgleich er die grosse Empfindlichkeit des Palladium-Natrium-Chlorürs anerkennt, doch allen vorgenannten Methoden die Blutprobe vor, welche Prof. Dr. Herm. W. Vogel zur Untersuchung der Luft- und Ofenheizung in Berliner Schulen in Anwendung brachte, eine Untersuchungsmethode, wobei Vogel die spectroskopische Kohlenoxyd-Blutprobe Hoppe-Seyler's für die Luftuntersuchung nutzbar gemacht hat.

Zum besseren Verständniss dieses Verfahrens ist es dienlich, einige auch sonst interessante Mittheilungen über das Blut hier einzuschalten.

Das Blut ist eine sehr zusammengesetzte und nach Ort und Zeit bis zu einem gewissen Grade in der Zusammensetzung wechselnde Flüssigkeit, in welcher einige Bestandtheile gelöst, andere nur aufgeschwemmt, suspendirt sind. Den Hauptbestandtheil des Blutes bilden die Blutkörperchen, die dem blossen Auge nicht sichtbar sind, unter dem Mikroskop jedoch als gelbliche, erst bei Deckung mehrerer als rothe, biconcave Scheiben erscheinen, deren Durchmesser zu 0,00774 Millimeter und deren Dicke zu 0,0019 Millimeter angegeben wird. Solche

*) Zeitschrift für Biologie 1878. S. 511.

Blutkörperchen sollen in einem Cubik-Millimeter ungefähr 5 Millionen enthalten sein.

Ihr Inhalt ist gewöhnlich homogen und klar, zuweilen auch körnig. Die Hauptmasse der Blutkörperchen bildet das Hämoglobin, eine krystallisationsfähige Substanz, deren Krystalle in kaltem Wasser wenig, in warmem Wasser viel mehr löslich sind.

Die Hämoglobinlösungen haben eine schöne rothe Farbe.

Von dem Hämoglobin, beziehungsweise von den Blutkörperchen und dem Blute überhaupt, wird eine chemische Anziehung auf Gase ausgeübt, so auf Sauerstoff und Kohlenoxyd. Das Absorptionsvermögen des Blutes für Kohlenoxyd ist bedeutend, gleichwie für Sauerstoff. Es wird aber der im Blute chemisch gebundene Sauerstoff durch ein gleiches Volumen Kohlenoxyd verdrängt, wenn man mit Sauerstoff gesättigtes Blut mit Kohlenoxydgas behandelt. Daraus erklärt sich die giftige Wirkung des Kohlenoxydgases und folgt, dass Kohlenoxyd-Hämoglobin eine stabilere Verbindung ist als Sauerstoff-Hämoglobin.

Kohlenoxydhaltiges Blut ist kirschroth gefärbt; diese Farbe wird weder durch Sauerstoff noch durch Kohlensäure verändert. Mit einer concentrirten Kali- oder Natronlauge gemengt, färbt es sich mennigroth, während gewöhnliches oder mit irgend einem andern Gase imprägnirtes Blut fast schwarz, in dünnen Lagen braunroth oder schmutzig grün erscheint.

Kohlenoxydhaltiges Blut erzeugt im Spectrum dieselben Absorptionsstreifen wie sauerstoffhaltiges; setzt man aber Schwefelammonium zu, so verschwinden die Streifen nicht in mehreren Tagen, während sauerstoffhaltiges Blut nach Zusatz von Schwefelammonium schon nach einigen Minuten nur mehr einen Absorptionsstreifen zeigt. Dadurch ist ein empfindliches Mittel gegeben zur Erkennung des Kohlenoxyds im Blute.

Schon vor längerer Zeit hat Hoppe-Seyler darauf aufmerksam gemacht, dass die Absorptionsstreifen, welche sich mit normalem, verdünntem Blute bei der Spectral-Analyse ergeben, ebenso bei Blut, welches mit Kohlenoxyd vermischt ist, vorhanden sind, und dass es leicht ist, dem normalen Hämoglobin durch Zusatz stark reducirender Substanzen seinen Sauerstoff zu entziehen, dass es aber nicht gelingt, das Kohlenoxyd dem Hämoglobin in derselben Weise zu nehmen. Die Folge davon ist, dass normales sauerstoffhaltiges Blut seine zwei Absorptionsstreifen oder Spectralbänder nach Zusatz stark reducirender Substanzen zu einem breiten

Streifen zusammenfliessen lässt, kohlenoxydhaltiges Blut aber nicht.

Nach Wolffhügel, beziehungsweise Herm. W. Vogel, werden zu 100 Cubik-Centimeter Luft 3 Cubik-Centimeter der sehr verdünnten Blutlösung genommen, und damit wird zwei Minuten lang die Wandung des Glaskölbchens, in welchem die Blutprobe unter Gummiverschluss genommen worden ist, ruhig bespült. Als Reductionsmittel dient weinsaures Eisenoxydul-Ammoniak, alkalisch und in frischer Lösung. Mit Hülfe der Spectral-Analyse lässt sich alsdann in der untersuchten Luft der Kohlenoxydgehalt, wenn er 0,25 pro Mille oder mehr beträgt, erkennen.

Wolffhügel giebt der Blutprobe, obgleich es ihm noch nicht gelungen ist, diese Methode zur quantitativen Bestimmung oder nur annähernden Schätzung des Kohlenoxydgehalts der Zimmerluft nutzbar zu machen, dennoch, wie bereits erwähnt, den Vorzug vor allen anderen Methoden, „weil die Reaction unzweideutig und empfindlich genug ist, um damit die Frage der sanitären Zulässigkeit einer Heiz- resp. Zimmerluft zu entscheiden; sie giebt mit einem kleinen Volumen Luft in der kürzesten Zeit Aufschluss und empfiehlt sich dadurch auch für praktische Zwecke.“ Ich komme hierauf bei Beurtheilung der verschiedenen Heizsysteme zurück.

§. 105.

Desinfection.

Desinfection heisst Entgiftung, Reinigung von Ansteckungsstoff.

Man versteht darunter im engeren Sinne alle Vorkehrungen, welche mit Hülfe von chemisch wirkenden Mitteln getroffen werden, um die Verbreitung gewisser Krankheiten zu verhindern, die durch Ansteckung mitgetheilt, besonders durch Betten, Kleider und andere Gegenstände verschleppt werden können. Solche Körper sowohl, wie die Luft, sollen durch Desinfection von den Ansteckungsstoffen, Contagien, befreit werden.

Unter Desinfection im weiteren Sinne versteht man die Verhütung gesundheitsschädlicher und belästigender Ausdünstungen, Reinigung und Reinhaltung der Luft in Wohnungen, Ställen, Abtritten und anderen geschlossenen Räumen, wenn überhaupt desinficirende Mittel in Anwendung kommen.

Desinficirende Mittel sind solche Substanzen, welche durch chemische Wirkung die übelriechenden und verderblichen Beimischungen der Luft und anderer Gegenstände theils an sich ziehen und binden, theils ausscheiden und dadurch unschädlich machen.

So ist Eisenvitriol, schwefelsaures Eisenoxydul, sehr geeignet, Schwefelwasserstoff-Ammoniak zu zerlegen, welche Verbindung sich mit höchst übelriechender, schädlicher Wirkung aus Excrementen bildet. Ist nun Eisenvitriol mit solcher Luft in Berührung, so entsteht schwefelsaures Ammoniak und Schwefeleisen. Wo einer drohenden Epidemie wegen die Abtrittsgruben desinficirt werden sollen, bringt man nach Pettenkofer in den Inhalt der Abtrittsgruben zunächst so viel Eisenvitriollösung, bis nach Vermischung des Inhalts deutlich saure Reaction eingetreten ist, und fügt dann täglich für jede der die Grube benützenden Personen 25 Gramm Eisenvitriol hinzu. Auch kann man zweckdienlich pro Kopf und Tag 1 bis 2 Gramm Carbolsäure beigeben und statt der Carbolsäure den billigeren Holzessig oder holzsauren Kalk verwenden.

Durch Chlorkalk, unterchlorigsaure Kalkerde, werden Räume von übelriechenden Miasmen, Krankheitsstoffen, gereinigt, indem dieses Präparat die Wasserstoffverbindungen gänzlich zersetzt.

Zu demselben Zwecke wird auch das Chlor selbst benutzt. Chlor ist übrigens eines der stärksten gasförmigen Gifte; es hat kratzend scharfen Geschmack und eigenthümlichen Geruch, afficirt die Schleimhäute der Geruchsorgane in hohem Grade. Desswegen ist bei der Anwendung des Chlors besondere Vorsicht nothwendig. Chlorkalk lässt sich vortheilhaft in Zimmern anwenden, wo Kranke mit ansteckenden Krankheiten verweilt hatten, oder wo Kleider, Betten u. dgl. desinficirt werden sollen. Zur Desinfection eines Zimmers von etwa 30 Quadratmeter Grundfläche und 4 Meter Höhe kann man gegen 400 Gramm Chlorkalk in einer Schüssel mit ungefähr 1 Liter Wasser anrühren und 1 Liter verdünnte Salzsäure zusetzen. Das Zimmer soll man alsdann sogleich verlassen und ungefähr 24 Stunden lang geschlossen halten.

Auch schweflige Säure ist zur Desinfection solcher Räume dienlich. Man lässt gegen 400 Gramm Schwefel in dem geschlossenen Raume abbrennen und die Dämpfe der schwefligen Säure ungefähr 24 Stunden lang einwirken.

Als Desinfectionsmittel dienen ferner auch Holzkohle, Holzessig, Holztheer, Carbolsäure, übermangansaures Kali-Natron u. s. w.

Frisch ausgeglühte Holzkohlen saugen Gase in grosser Menge auf,

können desshalb als Luftreinigungsmittel gelten, auch zur Reinigung übelriechenden Wassers mittels Filtration dienen.

Holzessig, bei ansteckenden Krankheiten in Zimmern aufgestellt und verdampft, wirkt auf Ammoniak und eiweisshaltige Contagien in der Luft verändernd, und ist dadurch ein wirksames Desinfectionsmittel.

Carbolsäure wendet man am besten in der Weise an, dass man in einem Krankenzimmer eine Schale mit wässriger Carbolsäure-Lösung aufstellt, also die Säure mit dem Wasser verdunsten lässt.

Zum Desinficiren von Abtritten, auch Entleerungsgefässen von Kranken, lässt sich gut Holztheer in Pulverform verwenden. Das trockene braune Pulver wird bereitet durch Vermischung von verhältnissmässig wenig Holztheer mit gebranntem und gepulvertem Kalk oder Gyps.

Uebermangansaures Kali-Natron. Man stellt seit einigen Jahren das übermangansaure Natron, gemengt mit übermangansaurem Kali, in grossen Mengen dar. Das übermangansaure Kali kommt im Handel in purpurrothen dünnen rhombischen Säulen vor, die sich in 16 Theilen Wasser lösen. Mit concentrirter Schwefelsäure übergossen liefern sie Ozon. Die wässerige Lösung ist ein kräftiges Oxydationsmittel. Als desinficirendes Mittel wirkt das übermangansaure Kali-Natron in der Weise, dass es durch rasche Oxydation die schädlichen organischen Substanzen in die unschädlichen Zersetzungsproducte überführt. Da dieses Salz keinen Geruch entwickelt, kann es in Krankenzimmern gut Anwendung finden. Es wird auch als äusseres Heilmittel gegen eiternde Wunden, als Mundspülwasser, zur Reinigung faulenden Wassers u. s. w. benützt.

§. 106.

Mittel gegen die Verbreitung schädlicher Dünste. Geruchverschlüsse.

Es ist constatirt, dass die aus dem Erdboden aufsteigenden Dünste zuweilen sehr nachtheilig auf die Gesundheit wirken; und allgemein bekannt sind die schlimmen Einwirkungen der in den Mauern aufsteigenden Grundfeuchtigkeit auf die Gesundheit durch Erzeugung von Hausschwamm, Mauerfrass u. dgl. Man soll desshalb nirgends versäumen die von der Bautechnik gebotenen Mittel gegen das Aufsteigen der Bodenluft und der Grundfeuchtigkeit in Anwendung zu bringen, wo man nicht durch die örtliche Lage vor solchen Uebeln gesichert ist.

Aushebung schlechten Bodens, Betonschüttung, Cementmauerung, Plattung mit Cementausguss u. dgl. sind solche Mittel.

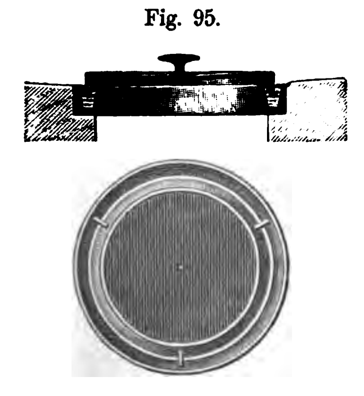
Von allgemeiner Wichtigkeit sind die eigentlichen Geruchverschlüsse.

Die hier zu besprechenden Geruchverschlüsse, als Mittel gegen Luftverderbniss in Wohnungen, beziehen sich auf diejenigen baulichen Objecte, in welchen feste Abfälle und Flüssigkeiten, die entweder schon übelriechend sind oder alsbald übelriechend werden, abzuleiten sind oder auch für einige Zeit sich ansammeln. Dahin gehören die Küchengossen, Gossenröhren, Gossengruben, Abtrittsgruben, Abzugskanäle u. dgl. Die zweckdienlichen Mittel sind im Allgemeinen Vorrichtungen für Wasserschluss; doch ist zuweilen Sandschluss gut und sogar besser geeignet.

Vorrichtungen dieser Art sind sehr viele bekannt; aber grossen Theils haben sie Mängel, die sich bei der Benützung nach einiger Zeit herausstellen. Die nachfolgend beschriebenen sehr einfachen, meistens von mir bei Gelegenheit von Bauausführungen erdachten und mit völlig befriedigendem Erfolg in Anwendung gebrachten Vorrichtungen, die nicht leicht jemals einer Reparatur bedürfen und zu keiner Störung Anlass geben, dürften den sonst benützten Schlussvorrichtungen in vielen Fällen vorzuziehen sein.

Soll eine horizontale Oeffnung dazu dienen, Wasser abzuführen, ohne zugleich Luft durchzulassen, so liegt es nahe, wie in Fig. 95 angedeutet, eine Vertiefung rings um die Oeffnung laufen zu lassen und in diese Vertiefung einige Stege einzusetzen, auf welche ein Deckel gelegt wird, oder bei Weglassung der Stege einige Oeffnungen unten an dem verticalen Randringe des Deckels anzubringen.

Fig. 95.



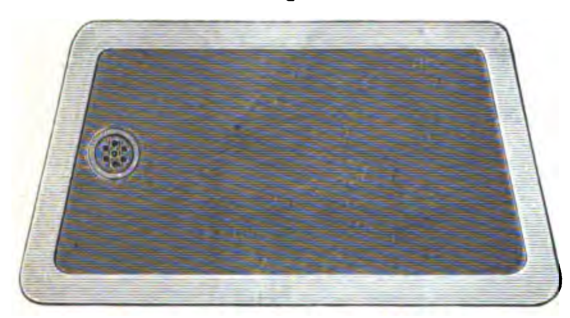
Können die Stege herausgenommen werden, so eignet sich die Einrichtung mit vollem Deckel auch für Sandschluss.

Dieses einfache Princip soll nun für verschiedene Fälle der Anwendung specialisirt werden.

Küchengossen. Es sei zuerst der am meisten vorkommende Fall gesetzt, dass ein Ausguss-Becken von Sandstein in Anwendung ist mit einer Abflussöffnung im Boden des Beckens nebst

einem Seiherblech von 7 bis 8 Centimeter Durchmesser, wie im Massstab $\frac{1}{20}$ durch Fig. 96 angedeutet ist.

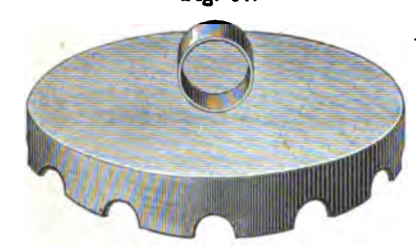
Fig. 96.



Man lasse um das Seiherblech herum eine Rinne aushauen, 1 Centimeter tief und 1 ½ Centimeter breit. In diese Rinne wird ein Deckel gesetzt, wie er in Fig. 97 in halber Grösse skizzirt ist.

Dieser Deckel kann von Gusseisen, Zink, Messing oder Kupfer, auch, wenn man die Zerbrechlichkeit nicht fürchtet, von Steingut oder Glas sein, und hat bei einem Durchmesser von 10 Centimeter etwa 8 oder 12 halbkreisförmige Ausschnitte von 5 Millimeter Höhe und 10 Millimeter Breite am unteren Rande.

Fig. 97.



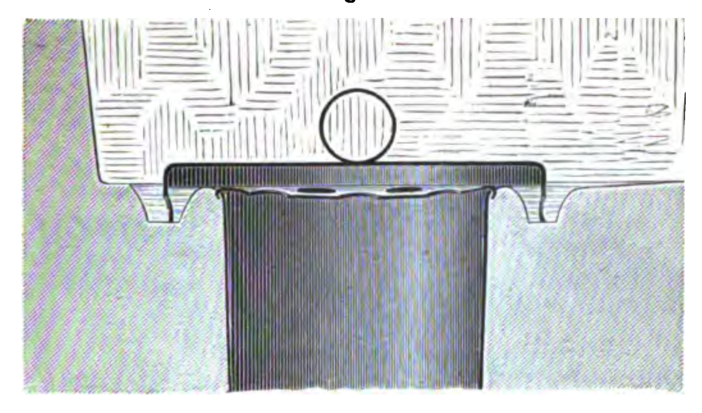
Wenn die Rinne mit Wasser gefüllt ist, steht das Wasser 5 Millimeter über den höchsten Punkten der Deckelausschnitte Fig. 98.

Dabei kann es nicht leicht vorkommen, dass in Folge ungleicher Luftspannungen so viel Wasser aus der Rinne in die Abflussröhre gesaugt oder gedrückt oder nach aussen getrieben wird, dass den Gasen der Durchgang gestattet ist; denn die Wassersäulenhöhe von 5 Millimeter widersteht einer Luftspannungsdifferenz, welcher eine Luftgeschwindigkeit von mehr als 8 Meter in der Secunde entspricht.

Der Seiher könnte hiebei überflüssig erscheinen; es ist aber rathsam ihn beizubehalten, weil ausserdem leicht bei zufällig oder absichtlich abgehobenem Deckel allzugrosse Stücke von Gemüseabfällen, Speiseresten u. dgl. in die Röhre gelangen und diese verstopfen könnten.

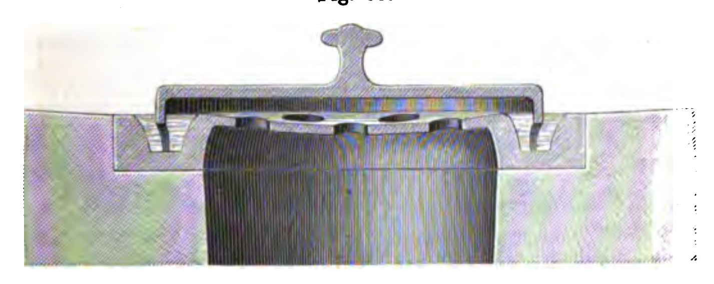
Sollte die Beschaffenheit des Steinmaterials das Aushauen der Rinne nicht gut gestatten oder wegen zu grosser Porosität das beständige Gefülltsein der Rinne mit Spülwasser nicht räthlich erscheinen lassen, so

Fig. 98.



wird ein Ring von Gusseisen eingelegt und mit Cement gedichtet. Der Seiher kann am Ring angegossen sein. (Fig. 99).

Fig. 99.



Für neue Einrichtungen möchte ich vorzugsweise gusseiserne Gossenbecken empfehlen, bei welchen auch die Rinne in Guss ausgeführt ist und folglich nur der gusseiserne Deckel als besonderer Theil hinzukommt. (Fig. 100.)

Fig. 100.



Bei steinernen Gossenbecken mit Zotte, welche durch die Fensterbrüstung nach aussen hindurchgeht, ist ausser dem Geruch sehr häufig das heftige Einströmen der äusseren Luft, der sogenannte kalte Zug,

sehr belästigend. Man kann diesen Uebelstand auf die durch Fig. 101 dargestellte Weise beseitigen.

Gossenröhren. Die Gossenröhre von Steingut, Zink oder Ku-

Fig. 101.

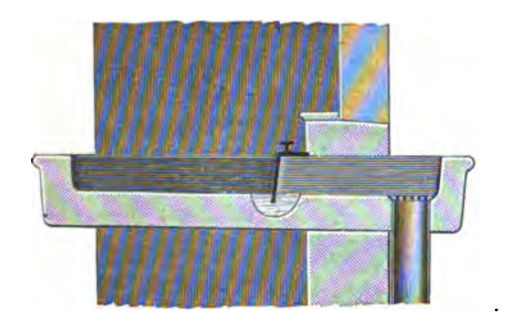




Fig. 102.



pfer lässt man bekanntlich, um das Einfrieren zu vermeiden, am besten im Innern des Hauses hinabgehen und in einer Gossengrube oder einem Abflusskanal endigen. Bei abgehobenem Ablaufdeckel des Gossenbeckens können die übel riechenden Gase von der Grube oder dem Abflusskanal in die Küche empordringen. Um dieses zu verhüten, wird zuweilen der in Fig. 102 angedeutete Wassersack unter der Fallröhre angebracht; doch ist die von Zeit zu Zeit nothwendige Reinigung desselben eine umständliche und lästige Arbeit, die in der Regel so lange als irgendmöglich verschoben und dadurch immer misslicher wird.

Fig. 103.

Besser bringt man am unteren Ausflussende der Gossenröhre eine hängende Klappe an, welche sich mit ebener Fläche auf einen ebenen Rand der Röhre auflegt. (Fig. 103.) Durch die Attraction der Flüssigkeit zwischen den beiden ebenen Flächen ist dauernd ein dichter Abschluss vorhanden, um so mehr da in dem geschlossenen und mit Feuchtigkeit ganz oder nahezu gesättigten Raume eine Verdunstung, also Trocknung, fast gar nicht stattfinden kann. Die Klappe besteht aus dem gleichen Material wie die Röhre bei Zink oder Kupfer. Aus solchem Material lässt man wenigstens das untere Röhrenstück anfertigen, wenn die Fallröhre von Steingut ist. Die Verbindung macht keine Schwierigkeit.

Gossengruben mit Abfluss, Setzgruben, Senkgruben.

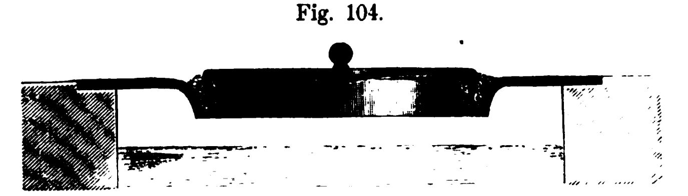
Gossengruben aus wasserdicht hergestelltem Cementmauerwerk und mit gutem Cementverputz können sich ebenso wie die Gossenröhren im Innern des Hauses befinden, etwa in der Waschküche, wenn jene mit gutem Geruchverschluss versehen sind.

Sie stehen an ihrem oberen Theile zweckmässig in Verbindung mit Abflusskanälen, dienen dann als Setzgruben für die schwereren festen Theile im Spülwasser und brauchen nicht sehr umfangreich zu sein.

Bei der Anwendung in Waschküchen ist jedoch das zu berücksichtigen, was weiterhin über die Einrichtung der Kanalschlüsse bemerkt wird.

Für die Deckung einer nicht auch zur Abführung von Waschküchenwasser u. dgl. dienenden Gossengrube empfehle ich folgende Einrichtung: (Fig. 104).

Fig. 104.



Die auf der entsprechend ausgefalzten Steinfassung der Grube in Cement gelegte gusseiserne Deckplatte enthält eine ringförmige Vertiefung, Rinne, in welche der volle — hier nicht mit Ausschnitten versehene — Rand des Deckels (Fig. 105) mit richtigem Spielraum passt. Die Rinne wird mit Sand gefüllt, weil hier das Wasser verdunsten und zuweilen fehlen, auch bei der Verdunstung, da die Füllung selten erneuert würde, Geruch veranlassen könnte.

Fig. 105.

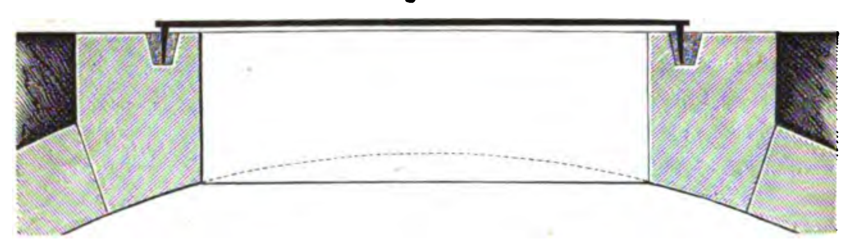
Der Deckel hat eine schwache Neigung gegen die Mitte, damit hier das Condensationswasser abträufelt und nicht nach der Sandrinne fliesst.

Abtrittsgruben und Gossengruben ohne Abfluss. Auch hier ist der Deckel mit Sandschluss am rechten Platze. Die Oeffnung, zweckmässig 60 Centimeter weit, ist gewöhnlich über dem Gewölbe der umfangreicheren Grube mittels einer Haustein-Fassung gebildet.

Man lasse in der Steinfassung 3 bis 4 Centimeter von der Innenkante entfernt eine 4 Centimeter breite und eben so tiefe Rinne aushauen, welche mit Sand gefüllt wird, und in welche der schwach 4 Centimeter hohe nach unten gerichtete etwas scharfe Rand der gusseisernen Deckelplatte eingedrückt wird. (Fig. 106.)

Eine Verdickung der oben horizontalen Platte unten gegen die Mitte verhütet das Eindringen des übelriechenden Condensationswassers in den

Fig. 106.

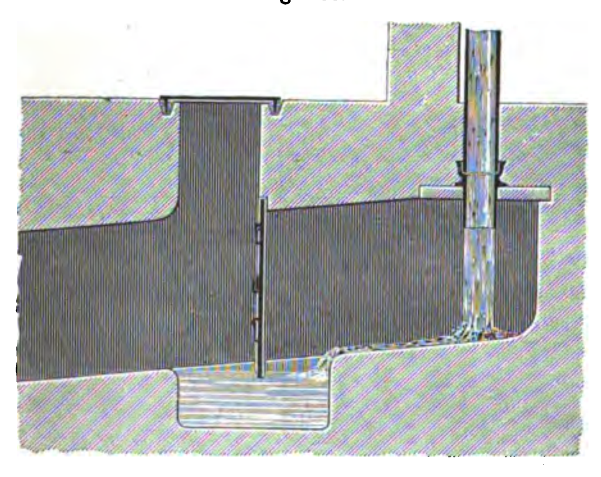


Sand und dient zugleich nach den Gesetzen der relativen Festigkeit zur sachgemässen Verstärkung der Platte, welche nicht zu schwach sein darf, weil sich die Grube im Hofe befindet, und in vielen Fällen das Darüberfahren, wenigstens mit Schubkarren, gestattet sein muss.

Fig. 107.

Abflusskanäle. Bei Abflusskanälen für Abtritte hat man häufig das Eindringen der Kanalgase in die Abfallröhre durch eine Krümmung am unteren Röhrenende (Fig. 107) zu verhüten gesucht. Der Erfolg war nicht befriedigend, weil durch Papier u. s. w. das gekrümmte Röhrenstück leicht verstopft wird.

Fig. 108.



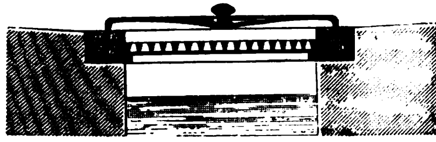
Man lasse desshalb die Röhre ohne Krümmung endigen und sperre eine kurze Strecke des Kanals in der Weise ab, wie aus Fig. 108 ersichtlich ist.

Für die Deckung von Abflusskanälen in Waschküchen u. dgl., welche Kanäle auch das Wasser der Küchengossen mit abführen können, ist zu berücksichtigen, dass Wäscherinnen und Dienstboten sicherlich den Deckel, wenn er auch wie in Fig. 97 als Abflussdeckel eingerichtet wäre, abheben, um das ausgegossene Wasser möglichst rasch abfliessen zu lassen, dass aber auch bei abgehobenem Deckel Gegenstände wie Lumpen, Besenreiser, Holzstücke u. dgl., welche ein baldiges Verstopfen des Kanals veranlassen würden, oder kleine Wäschegegenstände, welche aus Unvorsichtigkeit mit dem Waschwasser ausgeschüttet werden, nicht in den Kanal gelangen dürfen.

Es eignet sich desshalb die Aufsetzung eines gusseisernen Ringes mit Deckel und Sandschluss, jedoch mit Beifügung eines Seihers oder Rostes, welcher unter dem Deckel liegt und nur beim Reinigen des Kanals herausgenommen wird. (Fig. 109.)

Diese Einrichtung müsste bei einiger Länge des Kanals der Kanalreinigung wegen an mehreren Stellen angebracht werden. Macht man die Vorrichtung bei gleicher Breite doppelt so lang oder noch länger, so genügt eine einzige Reinigungsöffnung für bedeutende Länge und zudem wird das Reinigen viel bequemer ausführbar.

Fig. 109.



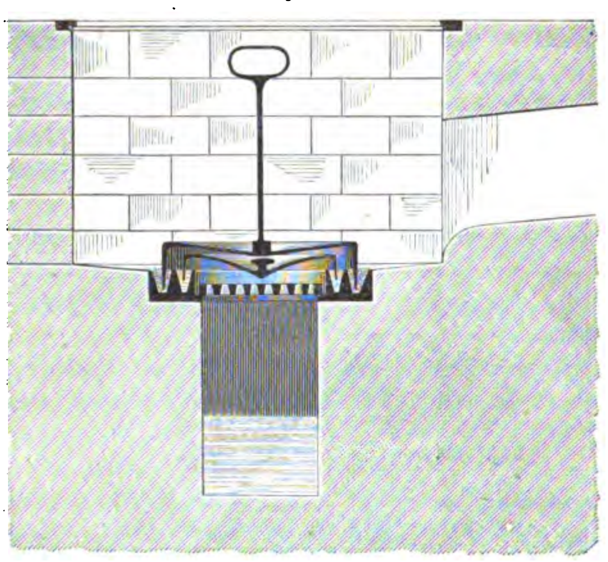
Es kommt mitunter vor, dass Wasser — Condensationswasser von selten benützten Maschinen, Abflusswasser von Kühlapparaten u. s. w. — aus dem Hause mittels eines Kanals nach dem Hofe geleitet wird, wo es unter dem Erdboden nach einer bestehenden Canalisirung fortgeführt werden kann.

Wenn da längere Zeit kein Wasser abzuleiten ist, auch nicht durch einfallenden Regen — der Schacht ist hier im Freien und mit einem Gitter gedeckt angenommen — die Wasserrinne gefüllt wird, so könnte in Folge der Verdunstung der Wasserschluss fehlen. In solchen Fällen ist es zweckmässig, den Sandschluss mit dem Wasserschluss zu verbinden, wie die Einrichtung Fig. 110 andeutet, welche sich nach speciellen Verhältnissen modificiren lässt und deren zweckentsprechende Behandlungsweise leicht zu erkennen sein wird.

Sitze und Deckel der Abtritte. Die Abtrittsitze gegen die Fallröhren dicht abzusperren ist unnöthig, ja unzweckmässig, weil alsdann die während der Benützung des Abtritts unvermeidlich sich entwickelnden Gerüche sich im Abtrittsraume verbreiten müssen.

Dieser Gegenstand kommt später bei der Ventilation der Abtritte ausführlich zur Besprechung. Es mag hier nur noch erwähnt werden,

Fig. 110.



dass bei guter Gesammteinrichtung es nicht nur zulässig, sondern sogar zweckmässig ist, dass auch die Sitzdeckel wenig dicht schliessen, da durch die Fugen ein beständiger Luftwechsel in geeigneter Richtung vor sich gehen kann und soll. Gleiches gilt selbst für den Fall, dass zuweilen das Auflegen des Deckels unterlassen wird.

Benützung von Schlackenwolle bei Geruchverschlüssen. Schlackenwolle allein bildet keinen hinreichend dichten Schluss. In solchen Fällen aber, wo bei Sandschluss durch grosse Druckdifferenz der inneren und äusseren Luft der Sand in die Leitung gerissen oder herausgeblasen wird, soll man die untere Hälfte der Rinne mit Schlackenwolle erster Qualität gleichmässig auslegen und darüber erst den Sand aufbringen. Durch das Aufdrücken des gusseisernen Deckels wird die Schlackenwolle so viel comprimirt, dass selbst der feinste Sand nicht mehr hindurchgetrieben wird.

Schlackenwolle ist jetzt auch in kleinen Quantitäten so billig zu haben, dass die Kosten dafür gar nicht in Betracht kommen; sie sind auch nur einmal aufzuwenden, weil die Schlackenwolle unverweslich ist.

In Folge eines Gehaltes von Schwefelcalcium entwickelt sich zwar

nach §. 102 aus der unpräparirten, gewöhnlichen Schlackenwolle bei gleichzeitiger Einwirkung von Feuchtigkeit und Kohlensäure Schwefelwasserstoffgas; aber dieser Umstand wird in den meisten Fällen der in Rede stehenden Benützungsweise bei dem geringen Quantum der verwendeten und überdies mit Sand gedeckten Schlackenwolle ohne misslichen Einfluss sein. Ausserdem kann man durch einfache Behandlung mit Essigsäure u. dgl. das Schwefelwasserstoffgas vor der Verwendung der Schlackenwolle austreiben.

§. 107.

Schlussbemerkungen über die Gegenmittel der Luftverderbniss mit Rücksicht auf Luftwechsel.

Zu den beiden besprochenen Mitteln gegen Luftverderbniss, nämlich Desinfection und Abhaltung schädlicher Dünste, kommt als drittes der Luftwechsel, die Ventilation.

Jedes der drei Gegenmittel hat seine volle Berechtigung. Man kann die Frage, welches der drei Mittel das beste sei, nicht beantworten.

Das erste, die Desinfection, ist bei guten Lüftungseinrichtungen häufig ganz überflüssig, wo man beim Fehlen solcher zu Desinfectionsmitteln greifen muss. Die Desinfection ist also nicht so wichtig, wie noch von Manchem angenommen wird, aber sie ist unter gewissen Umständen durch die beiden anderen Mittel nicht zu ersetzen, also doch unentbehrlich, und die beiden anderen, Geruchverschlüsse und Ventilation, sollen in keinem Hause fehlen. Es wäre sehr verkehrt, wegen des Vorhandenseins guter Geruchverschlüsse die Ventilation für unnöthig zu halten, ebenso verkehrt, Geruchverschlüsse zu vernachlässigen, weil man für reichliche Ventilation sorge. Die Ventilationsanlagen dürfen nicht dazu dienen, schlechter Luft von Gossenkanälen und Abtritten einen Abflussweg durch die Räume des Hauses anzuweisen; sie sollen die Luftverderbniss, soweit solche durch die gewöhnlichen stetigen Lebensfunctionen mit Rücksicht auf Beleuchtung sowie häusliche und geschäftliche Thätigkeit entstehen könnte, verhüten, sollen die Luft des Hauses rein und frisch erhalten.

Bei den ausserordentlich verschiedenen Umständen, welchen die Ventilationsanlagen anzupassen sind, ist der Umfang der speciellen Einrichtungen sehr gross und schwerlich abgeschlossen darstellbar.

In Rücksicht auf die hohe Wichtigkeit und Vielfältigkeit der hierher gehörenden Berechnungen und Einrichtungen soll die Ventilation im folgenden Abschnitte besonders und ausführlich behandelt werden.

Als selbstverständlich vorausgesetztes viertes Mittel gegen Luftverderbniss mag nur noch kurz dasjenige genannt werden, welches überall das erste sein muss: die Reinlichkeit.

Sechster Abschnitt.

Ventilation.

---

§. 108.

Nothwendigkeit der Lufterneuerung.

Erstickungsfälle, sowohl in Folge des Schliessens der Ofenklappe als in Folge des Offenlassens eines Gashahns werden in jedem Jahre bekannt. Solche Vorfälle beweisen zwar der in Bezug auf Luftfragen noch sehr gleichgültigen Welt, dass man nicht in jeder Luft leben kann; aber sie beweisen ihr nicht, dass die Luft durch die gewöhnliche Lebensthätigkeit, durch die Respiration des Menschen, untauglich zur Erhaltung des Lebens wird.

Beweise können auch dafür durch Beispiele erbracht werden. Aus mehreren wähle ich hier zu eingehender Betrachtung einen Vorfall, welcher von einigen Schriftstellern in etwas abweichender Weise erzählt wird, in der Hauptsache aber nicht anzuzweifeln ist.

Munde*) und nach ihm Degen**) bringen kurz die Mittheilung:

„Am 1. December 1848 wurden am Bord des Dampfers Londonderry bei stürmischem Wetter des Nachts 150 Passagiere in eine kleine Kajüte gesperrt, von denen vor Tagesanbruch 70 den Geist aufgegeben hatten! —"

Wesentlich dasselbe sagt auch Lunge***).

---

*) Dr. med. Carl Munde. Zimmerluft, Ventilation und Heizung. Leipzig 1876.

**) Ludw. Degen. Praktisches Handbuch der Ventilation und Heizung. München 1878.

***) Dr. Georg Lunge. Zur Frage der Ventilation. Zürich 1877.

Es wäre von Interesse zu erfahren, wie klein die Kajüte war, wie lange die Passagiere darin eingesperrt waren, nach welcher Zeitdauer die ersten und letzten Erstickungsfälle eintraten. Alles wird freilich nicht festgestellt sein und sich nicht mehr feststellen lassen.

Doch erzählt Henry Lewes in seiner „Physiologie des täglichen Lebens“ den Vorfall ausführlicher. Des belehrenden Zusammenhangs wegen mag hier seine Erzählung nebst einigen vorausgeschickten und nachfolgenden Sätzen wiedergegeben werden.

„Die Kohlensäure gegen eine gleiche Menge Sauerstoff abzugeben — das heisst also, einen geringen Gasaustausch zu bewirken — scheint ein sehr unbedeutender Vorgang zu sein; und nur die eindringlichen Lehren trauriger Erfahrung können den Menschen davon überzeugen, dass dieser Vorgang von der äussersten Wichtigkeit ist. Jedes Kind weiss, dass wir zum Athmen Luft haben müssen; jedermann weiss auch, wie unangenehm es ist, keine frische Luft zum Athmen zu haben; die grosse Menge der Menschen hat aber davon keine Ahnung, dass Luft, die nicht frisch ist, so schlimm wie Gift wirkt.

Eine äusserst traurige Illustration dieser Unwissenheit bietet das Unglück, welches sich am Bord des Londonderry ereignete, eines zwischen Liverpool und Sligo laufenden Dampfers. Freitag, den 2. December 1848 lief er aus nach Liverpool mit 200 Passagieren, meist Auswanderern an Bord. Es kam stürmisches Wetter, und der Kapitän befahl, dass Alle hinabgehen sollten. Die Kajüte für die Hinterdeckpassagiere war nur 18 Fuss lang, 11 Fuss breit und 7 Fuss hoch. In diesen kleinen Raum wurden die Passagiere eingezwängt. Wären die Luken offen gelassen worden, so hätten die Eingesperrten doch wenigstens nur eine gewisse Unbequemlichkeit beim Athmen zu leiden gehabt; der Kapitän liess aber die Luken schliessen, und aus einem nicht aufgeklärten Grunde einen Gummimantel über den Eingang der Kajüte werfen und befestigen. Die unglücklichen Passagiere waren nun verurtheilt, dieselbe Luft immer von neuem wieder zu athmen. Das wurde bald unerträglich. Und nun begann eine schaudererregende Scene von Wahnsinn und Gewaltthaten unter dem Stöhnen der Sterbenden und den Flüchen der Kräftigeren; sie wurde nur durch einen der Leute unterbrochen, dem es gelang, sich mit Gewalt einen Weg auf das Verdeck zu bahnen und den ersten Steuermann in Alarm zu bringen, dem nun ein fürchterliches Schauspiel bevorstand: 72 waren bereits todt, viele waren im Sterben; ihre Körper waren krampfhaft gewunden, das Blut trat aus den Augen, Nasen und Ohren.

Die Ursache dieses tragischen Vorfalls lag in der Unwissenheit des

Kapitäns und seines Steuermanns. Sie hatten nichts von der Bedeutung frischer Luft für das Leben erfahren. Ihnen war nie gelehrt worden, dass einmal geathmete Luft ohne Nachtheil nicht noch einmal wieder geathmet werden kann; ihnen war die Thatsache fremd, dass die Luft, welche einmal in die Lungen eingetreten und wieder ausgetreten ist, verdorben ist, und dass verdorbene Luft so schlimm ist, wie ein Gift."

Soweit Lewes. Wie viele von den 200 Passagieren Hinterdeckpassagiere waren, geht aus seiner Schilderung nicht hervor. Wären sämmtliche 200 solche gewesen, so hätten auf einem Quadratmeter Bodenfläche durchschnittlich mehr als 10 Menschen Platz finden müssen. Nach der anderen Mittheilung waren es 150.

Ich will hieran eine rechnerische Betrachtung knüpfen mit Benützung der in §. 97 und §. 98 angegebenen Zahlen.

Das Volumen jener Passagiere, bei welchen ohne Zweifel junge Leute und Kinder waren, wird man durchschnittlich zu 0,066 Cubikmeter annehmen dürfen; das macht für 150 Passagiere

$$150 \cdot 0{,}066 = 9{,}90 \text{ oder rund } 10 \text{ Cubikmeter.}$$

Der Kajütenraum war nach den angegebenen englischen Massen fast genau 40 Cubikmeter. Der vorhandene Luftraum war also

$$40 - 10 = 30 \text{ Cubikmeter.}$$

Mithin trifft auf eine Person

$$\frac{30}{150} = 0{,}2 \text{ Cubikmeter Luft.}$$

Eine Person erzeugt stündlich ungefähr 0,02 Cubikmeter Kohlensäure. Das Verhältniss dieser Kohlensäure zum Luftkubus ist

$$\frac{0{,}02}{0{,}2} = \frac{1}{10} = 10 \text{ Procent.}$$

Es müsste demnach, wenn jeder eine Stunde lang geathmet hätte, der Kohlensäuregehalt in dieser Zeit auf 10 Procent gestiegen sein.

Da in einer solchen Luft, auch abgesehen von der schädlichen Wirkung der organischen Effluvien, kein Mensch mehr leben kann, so kann die ganze Scene im geschlossenen Raume nicht eine Stunde gewährt haben. Ein vollkommen dichter Schluss ist zwar nicht anzunehmen, aber doch — bei einem solchen Seedampfer und dem erwähnten Gummischluss — ein nahezu dichter. Dann enthielt der Kajütenraum

in $^1/_{10}$ Stunde oder in 6 Minuten nahezu 1 Procent Kohlensäure
in 18 bis 24 Minuten 3 bis 4 " "
in einer halben Stunde gegen 5 " "

Es mussten also in Folge der Kohlensäure-Anhäufung allein schon

in weniger als einer halben Stunde grosse Athembeschwerden eintreten und in weniger als einer Stunde die schwächeren Personen sterben.

Wenn in §. 97 gesagt ist, dass die Arbeiter in Bergwerken erst in einer Luft von 3 bis 4 Procent Kohlensäuregehalt Athmungsbeschwerden bekommen und dass ein Kohlensäuregehalt von etwa 9 Procent erstickend wirkt, so ist für die erstere Angabe nicht zu übersehen, dass in Bergwerken die Luft nicht bedeutend mit organischen Exhalationsstoffen verunreinigt ist, und in Betreff der zweiten ist es natürlich, dass je nach der individuellen Körperconstitution der eine Mensch in schlechterer Luft noch leben kann, als der andere; die angegebenen Zahlen können nur als annähernde Mittelwerthe gelten. Dass die Sauerstoffabnahme nicht von tief eingreifender Wirkung war, ist nach §. 97 unzweifelhaft. Doch kamen als ungünstige Umstände hinzu, dass die eng zusammengedrängten Personen sich zum Theil gegenseitig anathmeten, dass die Temperatur schon in wenigen Minuten auf Blutwärme steigen musste und die relative Feuchtigkeit eine sehr grosse war. Die Verhältnisse waren also in mehrfacher Beziehung extrem.

Aus den im vorigen Abschnitt über Luftverderbniss gegebenen Mittheilungen geht jedoch hervor, dass auch unter gewöhnlichen Umständen durch die physiologische, häusliche und gewerbliche Thätigkeit des Menschen die atmosphärische Luft in geschlossenen Räumen in Hinsicht ihrer quantitativen und qualitativen Zusammensetzung vielfach verderbliche Veränderungen erleidet. Die Sorge für die Gesundheit und zugleich für die behagliche Existenz muss in Folge dessen die Anforderung stellen, dass die benützten Räumlichkeiten entweder so gross seien, um bis zu Ende der Benützung eine Luftmischung zu enthalten, welche gute Luft genannt werden kann, oder dass, weil dieses in der Regel nicht oder nicht leicht erreichbar ist, Einrichtungen in Gebrauch kommen, welche eine gehörige Auswechselung der verdorbenen Luft gegen reine Luft gestatten.

Da die Ursachen der abnormen Beschaffenheit der Luft unter verschiedenen Umständen sehr ungleich sind, so ist es nicht möglich, ein- für allemal eine bestimmte Regel anzugeben, wonach die einem Raume zuzuführende Luftmenge zu bestimmen wäre; es ist nothwendig, einem jeden speciellen Falle eine genaue Untersuchung zu widmen, wenn man das Gelingen einer Ventilationsanlage nicht dem Zufall überlassen, oder nicht durch allzu umfangreiche Einrichtungen die Kosten einer solchen Anlage nutzloser Weise erhöhen will. Es ist an sich klar, dass für Werkstätten und Fabrikräume verschiedener Zweige der Industrie, da sich in solchen Räumen unter Umständen sehr schädliche Gase der Luft

mittheilen, die Apparate für Lufterneuerung in anderem Massstab anzuwenden sind, als für Räume, wo die Luft nur durch die Lebensthätigkeit einiger Personen verdorben wird, dass es ferner sehr darauf ankommt, ob solche Räume nur für kurze Zeit, nur während der Tagesstunden oder auch bei Nacht und dann mit Beleuchtung benützt werden sollen, wobei wieder die Art und Weise sowie die Intensität der Beleuchtung in Anschlag zu bringen ist.

Wie nothwendig der Luftwechsel auch in gewöhnlichen Wohnungen ist, davon wird sich ein Jeder ohne chemische und medicinische Studien schon durch das Geruchsorgan überzeugt haben, der Gelegenheit gehabt hat, Wohnungen zu betreten, wo man bei gewöhnlicher Heizung sehr dichte Doppelfenster anwendet, und es ängstlich meidet, ein Fenster zu öffnen, wo man überdies noch die Ritzen der Fenster mit Moos, Pelz, Wolle u. dgl. ausgestopft, verstrichen oder verklebt hat, um ja das Eindringen frischer Luft möglichst vollständig zu verhüten! Der Eindruck, welchen man aus dem Freien kommend, in solchen Wohnungen empfängt, lässt nicht zweifeln an der Ueberhandnahme der durch den menschlichen Organismus mit dem Wassergase zugleich ausgeschiedenen und vertheilten flüchtigen organischen Substanzen, welche alsbald in Fäulniss übergehen, und die schlechten Gerüche verbreiten, welche die Zimmerluft wahrhaft vergiften.

Nach zuverlässigen Angaben steht unter gleichen Umständen die Sterblichkeit in Zuchthäusern, wo einerseits für Luftverbesserung gesorgt war, andererseits solche vernachlässigt wurde, in dem Verhältnisse 3 : 10. Ein ähnliches Verhältniss würde sich auch für viele andere Localitäten, namentlich für Schulzimmer ergeben, wenn nicht glücklicherweise der Aufenthalt daselbst nur ein verhältnissmässig kurzer wäre. Dass in solchen Räumen die Keime vieler Krankheiten gelegt werden, unterliegt keinem Zweifel.

Vielseitige Beobachtungen, welche von Physikern und Chemikern in Deutschland und Frankreich, namentlich von Pettenkofer, angestellt wurden, haben ergeben, dass die Luftverunreinigung in abgeschlossenen Räumen, so lange die Kohlensäure durch die Respiration und Perspiration nicht über $^1/_{1000}$ vom Volumen der Luft steigt, nicht nachtheilig empfunden wird, dass jedoch bei grösserer Menge Kohlensäure, schon bei 20 bis 30 Theilen Kohlensäure in 10000 Theilen Luft schlimme Einwirkungen zu Tage traten. In Wirthshäusern, Schulen, Hörsälen, Arbeitsräumen, Strafhäusern, Theatern, Kasernen fand man die Kohlensäure zuweilen zu 30, 40 bis 72 Theilen in 10000 Theilen der Luft. Die Nothwendigkeit der Lufterneuerung in solchen Räumen und Ge-

bäuden, in Wohnungen überhaupt, ist durch solche Thatsachen mehr als hinlänglich erwiesen.

Dass in Stallungen, sowie in Räumen, wo die Luft durch die Verarbeitung gewisser Materialien oder durch chemische Processe verdorben wird, entsprechender Luftwechsel herbeigeführt werden muss, braucht kaum erwähnt zu werden. Auch in Räumen, die weder zum Aufenthalt von Menschen und Thieren noch für industrielle Verrichtungen dienen, in Magazinen, Kellern und anderen geschlossenen Räumen, würden ohne Luftwechsel verschiedene Materialien und die Holztheile der Gebäulichkeiten bald zu Grunde gehen.

Man wird demnach behaupten dürfen, dass in allen Räumen, die irgend einem Zweck des menschlichen Lebens dienen, Luftwechsel nothwendig ist. Damit ist jedoch nicht gesagt, dass überall besondere Einrichtungen für Ventilation ausgeführt werden müssen.

Wo und wie Luftwechsel vor sich geht oder zu bewerkstelligen ist, das wird in den folgenden Blättern festgestellt werden.

§. 109.

Nothwendige Luftmenge ohne Rücksicht auf Beleuchtung.

Die Luftmenge, um welche es hier sich handelt, ist ganz allgemein, ohne bestimmte Beziehung zu dem Luftkubus und Ventilationsquantum zu verstehen.

Es ist sachdienlich, von den Grenzwerthen auszugehen, welche Pettenkofer durch eine Reihe von Versuchen für die Luft grösserer Wohnräume ermittelt hat, nämlich:

1. Als untauglich für einen beständigen Aufenthalt ist jede Luft zu erklären, welche in Folge der Respiration und Perspiration der Bewohner mehr als 1 pro Mille Kohlensäure enthält.
2. Eine gute Zimmerluft, in welcher der Mensch erfahrungsgemäss auf längere Zeit sich behaglich und wohl befinden kann, hat keinen höheren Kohlensäuregehalt als 0,7 pro Mille.

Die Ermittlung dieser Sätze geschah durch den Geruchsinn und nach dem Allgemeinbefinden in Verbindung mit der Pettenkofer'schen Methode der Kohlensäurebestimmung. In Wohnräumen, in welchen die Luft nach dem übereinstimmenden Urtheile mehrerer an grösste Reinlichkeit und gute Luft gewöhnter Personen sehr rein oder weniger rein war, wurden die Kohlensäuremengen gemessen.

Hieraus und aus dem Umstande, dass in den Werthen 1 und 0,7 pro Mille jedesmal der Kohlensäuregehalt der noch nicht geathmeten und der geathmeten Luft inbegriffen ist, geht hervor, dass jene sogenannten Grenzwerthe nicht mit solcher Strenge festgehalten werden müssen, wie Manche verlangen, dass vielmehr Differenzen von ungefähr 0,1 pro Mille sehr wohl vorkommen können, ohne dass eine Verschiedenheit der Luft bemerkbar ist.

Je nachdem die im geschlossenen Raume noch nicht geathmete Luft einen Kohlensäuregehalt von

0,3 oder 0,4 oder 0,5 pro Mille

hat, beträgt die Zunahme durch Respiration und Perspiration

0,7 oder 0,6 oder 0,5 pro Mille

und beziehungsweise

0,4 oder 0,3 oder 0,2 pro Mille,

sobald der Grenzwerth 1 und beziehungsweise 0,7 pro Mille erreicht ist.

Es kommt aber wesentlich nur auf die Kohlensäuremenge an, welche als Mass der organischen Ausscheidungsproducte erst in die Luft des geschlossenen Raumes gelangt ist. Für die hier zu berücksichtigende Luftbeschaffenheit ist es ziemlich gleichgültig, ob der Kohlensäuregehalt der Luft durch die Benützung

von 0,3 auf 1 pro Mille

gestiegen ist, oder

von 0,5 auf 1,2 pro Mille.

Bestimmter wären die Grenzwerthe gegeben, wenn sie nur die durch Respiration und Perspiration erzeugte Kohlensäure, also den Zuwachs derselben im geschlossenen Raume bezeichnen würden.

Man könnte zwar sagen, ein grösserer Kohlensäuregehalt der Luft im Freien hänge mit der Luftverschlechterung in den umliegenden Wohnungen zusammen. Die Kohlensäure selbst ist aber nicht das Schädliche, und als Massstab der organischen Ausscheidungsproducte wird sie für die aus dem Freien genommene Luft doch nicht angesehen werden dürfen, weil jene Verunreinigungen vorzugsweise an das ausgeschiedene Wasser gebunden oder selbst dampfförmig sein werden und die Tensionen der Kohlensäure, des Wasserdampfes und jener organischen Dämpfe verschieden sind, so dass die ins Freie gelangende verunreinigte Luft in Bezug auf die organischen Ausscheidungsproducte, auch abgesehen von der Wirkung des Ozons und mechanischer Zerstreuung, schon durch Diffusion rasch regenerirt sein wird.

Auf Grund solcher Anschauungen, sowie der obigen Sätze, welche für dauernden Aufenthalt gelten, und weiterer Erfahrungsresultate ist auch folgender Satz gerechtfertigt:

Der Zuwachs der Kohlensäure durch Respiration und Perspiration darf 1 pro Mille betragen, wenn der Aufenthalt in solcher Luft kein beständiger ist.

Nimmt man überhaupt nur auf den Kohlensäurezuwachs Rücksicht, so beträgt dieser für die strengste Forderung 0,2 pro Mille. Nach Massgabe der verschiedenen Umstände darf sich also der Kohlensäurezuwachs zwischen den Werthen 0,2 und 1 pro Mille bewegen.

Nimmt man einen Raum für unterbrochenen Aufenthalt erwachsener Personen an, so beträgt die von einer Person ausgeschiedene Kohlensäure stündlich im Mittel 20 Liter oder 0,02 Cubikmeter, und sobald der Kohlensäurezuwachs 1 pro Mille wird, ist das Volumen der Luft 1000 mal so gross als das Volumen dieser Kohlensäure, also

$$0{,}02 \times 1000 = 20 \text{ Cubikmeter.}$$

Soll aber bei beständigem Aufenthalt erwachsener Personen und bei derselben stündlichen Kohlensäureausscheidung der Zuwachs statt 1 pro Mille nur 0,2 Mille betragen, also nur $^1/_5$ des vorigen, so muss die für eine Stunde nöthige Luftmenge 5 mal so gross sein, nämlich

$$5 \times 20 = 100 \text{ Cubikmeter.}$$

Für die zwischen beiden liegende Bedingung, dass für beständigen Aufenthalt die Luft nicht untauglich werden soll, ergiebt sich bei Annahme des zulässigen Kohlensäurezuwachses von 0,5 auf 1 pro Mille, d. i. gleich 0,5 pro Mille oder der Hälfte des erstgesetzten, die Luftmenge als die doppelte wie dort, also

$$2 \times 20 = 40 \text{ Cubikmeter.}$$

Diese Luftmengen

20 40 100 Cubikmeter

frische Luft für die Stunde sind für gleiche Luftbeschaffenheit in dem Verhältniss zu ändern, wie die animalischen Kohlensäurequellen stärker oder geringer werden.

Sind die athmenden Personen Kinder, welche die Luft nur im Verhältniss einer Kohlensäureausscheidung von 10 Liter in der Stunde verunreinigen, so reduciren sich die obigen Luftmengen auf

10 20 50 Cubikmeter

frische Luft für die Stunde.

Hat man dagegen kräftige Arbeiter im Zustande der Thätigkeit zu berücksichtigen, welche durchschnittlich 35 Liter Kohlen-

säure in der Stunde ausscheiden, so sind die ersten Zahlen im Verhältniss

35 : 20 oder 7 : 4

zu vergrössern, also $1^3/_4$ mal zu nehmen; dann entsprechen die Luftmengen

35 70 175 Cubikmeter

frische Luft für die Stunde.

Gelten die allgemeinen Bezeichnungen:

L die für eine Stunde nothwendige Luftmenge in Cubikmetern,

K die von dem betreffenden Individuum in einer Stunde ausgeschiedene Kohlensäure,

Z der nach den speciellen Umständen zulässige Zuwachs der Kohlensäure pro Mille, so ist

$$L = \frac{K \cdot 1000}{Z}.$$

Beispielsweise wäre für

$$K = 0{,}035 \text{ Cubikmeter und}$$
$$Z = 0{,}5 \text{ pro Mille}$$
$$L = \frac{0{,}035 \cdot 1000}{0{,}5} = 70 \text{ Cubikmeter,}$$

was mit dem vorletzten der vorerwähnten Zahlenergebnisse übereinstimmt.

Aus den obigen Beispielen ist bereits zu entnehmen, dass die Luftverunreinigung nach dem Massstab der ausgeschiedenen Kohlensäure vom Alter und von den Zuständen der Ruhe oder Thätigkeit abhängig ist. Sie ist auch abhängig vom Geschlecht und anderen körperlichen Zuständen.

Männer scheiden durchschnittlich mehr aus als Frauen, und Erwachsene mehr als Kinder. Die Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure steigt nach Andral und Gavarret bis zum 40. oder 45. Lebensjahre und steht im Verhältniss zur Entwicklung des Muskelsystems. Bei Kindern sind die täglich ausgeschiedenen Kohlensäuremengen geringer als bei Erwachsenen; berechnet man aber die ausgeschiedenen Mengen auf gleiches Körpergewicht, so ergiebt sich nach Scharling, dass Kinder fast doppelt so viel Kohlensäure produciren als Erwachsene im Verhältniss des Körpergewichts, wie aus folgender Tabelle ersichtlich ist:

Individuum.	Alter. Jahre.	Körpergewicht. Kilogramm.	In 1 Stunde excernirte Kohlensäure. Liter.	Gramm.	Von 1000 Gramm Körpergew. in 1 Stunde excernirte Kohlens. Gramm.
Knabe . . .	9¾	22,0	10,3	20,338	0,9245
Mädchen. .	10	23,0	9,7	19,162	0,8831
Jüngling . .	16	57,75	17,4	34,280	0,5887
Jungfrau. .	17	55,75	12,9	25,342	0,4546
Mann. . . .	28	82,00	18,6	36,623	0,4466
Frau	35	65,50	17,0	33,530	0,5119

Ferner ist beachtenswerth, dass während des Schlafes eine bedeutende Verminderung der Kohlensäure-Ausscheidung stattfindet. Diese Thatsache hat schon früher Scharling constatirt und sie wurde durch Versuche von Pettenkofer und C. Voit bestätigt. Die Kohlensäure-Ausscheidung in einer Nachtstunde war nach Tagesruhe nur ungefähr ¾ von der in einer Tagesstunde und nach Tagesarbeit sogar geringer als die Hälfte.

Die stündliche Kohlensäure-Ausscheidung betrug bei einem kräftigen, 28 Jahre alten und 72 Kilogramm schweren Manne

an einem Ruhetage . . . . . 22,6 Liter,
dann in der Nacht . . . . . 16,7 „
an einem Arbeitstage. . . . . 36,3 „
dann in der Nacht . . . . . 15,0 „

bei einem ruhenden schwächlichen Schneider von 36 Jahren und 53 Kilogramm Körpergewicht

am Tage . . . . 16,8 Liter,
in der Nacht . . . . . . 12,7 „

Von Wichtigkeit sind auch die Resultate der Untersuchungen, welche Breiting in Schulzimmern angestellt hat.

Die stündliche Kohlensäure-Ausscheidung war:

bei Mädchen von 8 bis 9 Jahren

während des gewöhnlichen Unterrichts 12 Liter,
während der Singstunden . . . . 16,7 „

bei Knaben von 12 bis 13 Jahren

während des gewöhnlichen Unterrichts 13 Liter,
während der Singstunden . . . . 17 „

Mit Hülfe der mitgetheilten Zahlen für die Mengen der unter verschiedenen Verhältnissen ausgeschiedenen Kohlensäure ist für jeden

besonderen Fall die stündlich nothwendige Luftmenge ohne Schwierigkeit festzustellen, wo der Einfluss der künstlichen Beleuchtung nicht ebenfalls als Ursache der Luftverunreinigung in Betracht zu ziehen ist.

§. 110.

Nothwendige Luftmenge bei Beleuchtung durch Flammen.

Es ist bekannt, dass bei künstlicher Beleuchtung — durch Kerzen, Oel, Petroleum, Gas — zuweilen Luftverunreinigungen entstehen, welche übelriechend, lästig und schädlich sind. Schädlich können sie auch sein, ohne sich durch den Geruch bemerklich zu machen.

Ein sicherer Massstab für diese Verunreinigungen ist noch nicht aufgefunden; dass er bei den Beleuchtungsproducten derselbe sein müsse, wie bei den Producten der Respiration und Perspiration, ist sicher nicht anzunehmen.

Nach vielen Beobachtungen kann man behaupten, dass — gutes Leuchtmaterial, gute Beleuchtungsapparate und deren richtige Behandlung vorausgesetzt — bei sparsamer und auch bei gewöhnlicher Beleuchtung von Wohnräumen eine Vermehrung der Luftmenge hiefür nicht nöthig wird, wenn diese für die Tagesbenützung der Räume reichlich bemessen ist. Die Beleuchtung ist in dieser Beziehung schon desshalb von geringem Einfluss, weil der Aufenthalt bei künstlicher Beleuchtung kein beständiger ist, sondern jedesmal nur wenige Stunden mit viel grösseren Unterbrechungen andauert.

Bei aussergewöhnlich reicher Beleuchtung aber soll man die Verbrennungsproducte möglichst direct abführen, bevor sie sich mit der Luft des Raumes mischen können. Da sich dieses jedoch nicht überall erreichen lässt, so mögen die in der Tabelle §. 99 angegebenen Kohlensäuremengen als Grundlage für die Berechnung der nothwendigen Luftmenge dienen, nachdem man die producirte Kohlensäure in irgend einem Verhältniss als Massstab der Luftverschlechterung für jede Beleuchtungsart ermittelt haben wird.

Wenn man die Summe der durch die Lebensthätigkeit und durch die Beleuchtung producirten Kohlensäuremengen einführt, kann man ohne Zweifel die oben gegebenen Grenzwerthe erhöhen.

Nimmt man diesen Zuschlag zu den Grenzwerthen bei der Beleuchtung nach Pettenkofer 1 pro Mille oder nach Erismann 0,7 pro Mille, setzt man also z. B. den Grenzwerth 2, beziehungsweise 1,7 anstatt 1 pro Mille, so ergiebt die Rechnung häufig das sonderbare Resultat,

dass bei Beleuchtung weniger Luft nothwendig sei, als ohne Beleuchtung. Der Luftbedarf ist z. B. ohne Beleuchtung für 5 Personen, welche stündlich 100 Liter = 0,1 Cubikmeter Kohlensäure ausscheiden, bei einem zulässigen Kohlensäure-Zuwachs von 0,5 pro Mille:

$$\text{Luftbedarf} = \frac{0{,}1 \,.\, 1000}{0{,}5} = 200 \text{ Cubikmeter.}$$

Sitzen die fünf Personen um eine Petroleumlampe, welche stündlich 56,8 Liter = 0,0568 Cubikmeter Kohlensäure producirt, so ist die gesammte Kohlensäure, welche in der Stunde erzeugt wird

$$0{,}1 + 0{,}0568 = 0{,}1568 \text{ Cubikmeter,}$$

und bei einem Grenzwerthe 1,5 pro Mille für den Kohlensäure-Zuwachs:

$$\text{Luftbedarf} = \frac{0{,}1568 \,.\, 1000}{1{,}5} = 104 \text{ Cubikmeter.}$$

Es dürfte demnach der Luftbedarf bei der Beleuchtung von 200 auf 104 Cubikmeter reducirt werden.

Die Anwendung der gegebenen Werthe in dieser Weise liegt nahe, ist so auch von C. Lang (Ueber natürliche Ventilation 1877 S. 32) mit Hinweisung auf die zu kleinen Resultate geschehen und meines Wissens bisher nicht als irrthümlich bezeichnet worden.

Wenn aber die obigen Angaben durch ähnliche Berechnung aus experimentellen Grundlagen hervorgegangen sind, so kann man daraus schliessen:

1) dass die ursprünglichen Grenzwerthe unter besonders strengen Anforderungen aufgestellt sind, also häufig eine Erhöhung zulassen;

2) dass die Luftverschlechterung durch normale Beleuchtung sehr gering ist.

Für nahezu gleiche Luftbeschaffenheit ohne und mit Beleuchtung kann offenbar eine solche Berechnungsweise nicht gelten. Man müsste die beiden Summanden des Luftbedarfs besonders berechnen, den ohne Beleuchtung nach dem kleineren, den für Beleuchtung nach dem höheren Grenzwerthe, und den Gesammt-Luftbedarf durch Addition beider Resultate ermitteln. Ob dabei die Grenzwerthe für die Beleuchtung allein nicht noch weiter zu erhöhen sind, das mag durch künftige Experimente entschieden werden. — Rechnet man so getrennt mit dem erhöhten Pettenkofer'schen Grenzwerthe, so ergiebt sich:

1) Luftbedarf für die fünf Personen ohne Rücksicht auf Beleuchtung wie oben berechnet . . . . 200 Cubikmeter.

2) Luftbedarf für die Beleuchtung allein

$$\frac{0{,}0568 \,.\, 1000}{1{,}5} = \frac{568}{15} = \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; 37 \quad ,,$$

Gesammt-Luftbedarf 237 Cubikmeter.

Dieses Resultat ist jedenfalls den Verhältnissen mehr entsprechend als das obige mit 104 Cubikmeter.

Zuweilen wird durch glänzende Beleuchtung eine so bedeutende Temperaturerhöhung veranlasst, dass diese oder vielmehr die entsprechende Kühlhaltung des Raumes für die Berechnung der nothwendigen Luftmenge vorzugsweise massgebend ist. Davon wird an einer anderen Stelle ausführlich die Rede sein.

§. 111.

Der Luftkubus und das Ventilationsquantum.

Was man unter Luftkubus und Ventilationsquantum im Allgemeinen zu verstehen hat, braucht wohl nicht erklärt zu werden. Als Luftkubus bezeichnet man jedoch häufig bei Ventilationsfragen nur denjenigen Raumtheil, welcher auf eine jede der im Raume befindlichen Personen bei gleicher Vertheilung trifft, welchen man also durch Division mit der Personenzahl in den Rauminhalt findet.

Ist ein Zimmer von 100 Cubikmeter für den Aufenthalt von 5 Personen bestimmt, so ist der Luftkubus 20 Cubikmeter.

Ebenso versteht man oft unter Ventilationsquantum nur das Volumen der für eine Person in einer Stunde zu wechselnden Luft.

Luftkubus ist gleichbedeutend mit Luftvorrath, wie Ventilationsquantum mit Ventilationsbedarf, beides im weiteren wie im engeren Sinne genommen.

Wie die betreffenden Grössen aufzufassen sind, wird sich in speciellen Fällen aus dem Zusammenhang ergeben.

Im Allgemeinen kann man die nothwendige Luftmenge gleich setzen der Summe aus dem Luftkubus und dem Ventilationsquantum, als dem Luftvorrath und Ventilationsbedarf, jedoch nicht für eine Stunde, sondern für die ganze Zeit der ununterbrochenen Benützung des Raumes.

Bei den folgenden Bezeichnungen:

L die stündlich nothwendige Luftmenge,

L_1 die in n Stunden nothwendige Luftmenge,

U der Luftkubus,

Q das Ventilationsquantum stündlich,

besteht demnach die Gleichung für n-stündige Raumbenützung:

$$n\,L = U + n\,Q \text{ oder}$$
$$L_1 = U + n\,Q \text{ Cubikmeter,}$$

Der Luftkubus U kann also bedeutend ins Gewicht fallen, wenn U im Verhältniss zu L_1 schon gross und n klein ist, das heisst bei nur kurzer Benützung eines verhältnissmässig grossen Raumes. Aber die Bedeutung des Luftkubus schwindet immer mehr, je grösser n, je grösser die Zeitdauer der Benützung ist. Für beständige gleiche Raumbenützung wird n unendlich gross und dabei verschwindet die Bedeutung des Luftkubus gänzlich, soweit er eben nur als solcher auftritt und nicht mit Umständen zusammenhängt, welche zugleich zur Vergrösserung des Ventilationsquantums Q beitragen. Allein die Frage, in welcher Weise der Luftbedarf gedeckt wird, ist vorläufig nicht in die Betrachtung gezogen.

Die Ansichten über die Abhängigkeit des Ventilationsquantums vom Luftkubus gehn weit auseinander.

Eine scheinbar recht praktische Regel, die man in einigen Schriften findet, ist die, dass die Summe des Luftkubus und des Ventilationsquantums pro Kopf und Stunde immer 100 Cubikmeter ergeben soll.

So werden angeblich in englischen Kasernen für den Mann 17 Cubikmeter Raum gerechnet und 83 Cubikmeter frische Luft stündlich zugeführt.

Danach wäre zu rechnen bei dem

Luftkubus	20	Cubikmeter	das	Ventilationsquantum	80	Cubikmeter.
„	40	„	„	„	60	„
„	60	„	„	„	40	„
„	80	„	„	„	20	„
„	100	„	„	„	0	„

Diese Regel beruht auf der nahe liegenden und auch im Obigen enthaltenen Annahme, dass die Luftzuführung um so geringer sein dürfe, je grösser der Luftvorrath ist, und in gewisser Beziehung hat diese Annahme eine Berechtigung, nicht aber in dieser Weise.

Nimmt man an, für einen Menschen sei nach den obwaltenden Umständen, etwa in einem Krankenhause, die stündlich nöthige Luftmenge 100 Cubikmeter, so ist e i n e S t u n d e l a n g keine Lufterneuerung nothwendig, wenn der Luftkubus 100 Cubikmeter ist. Aber in der zweiten Stunde wird die Luft schlechter, in der dritten noch schlechter, und es kommt eine Zeit, in welcher bei dem grossen Raume der Luftwechsel ebenso stark sein muss als bei einem kleineren, wenn die Luftbeschaffenheit dieselbe sein soll.

Man könnte geltend machen, dass jene Regel sich in der Anwendung bewährt habe. Es fragt sich alsdann nur, wie dieses Bewährtsein aufzufassen ist. Gewiss wird nach jener Regel in den meisten Fällen das

Ventilationsquantum ein sehr reichliches, ja ein übergrosses. Wenn man in einer Kaserne pro Mann 83 Cubikmeter frische Luft stündlich einführt, so ist dieses ein so bedeutendes Ventilationsquantum, dass dabei der Luftkubus ganz unberücksichtigt bleiben kann.

Vom einseitig theoretischen Standpunkte aus wird zwar oft behauptet, man könne nicht zu viel ventiliren, man müsse das Ventilationsquantum so gross nehmen als nur immer möglich. Dem stehen aber verschiedene Rücksichten entgegen. Unnöthig grosses Ventilationsquantum bringt folgende Nachtheile mit sich:

1) Es werden leichter unangenehme Luftbewegungen in den Zimmern veranlasst.
2) Die relative Trockenheit der Luft wird erhöht.
3) Die Kosten der Einrichtung und Unterhaltung werden vergrössert.
4) Die Betriebskosten werden namentlich da unnöthig erhöht, wo die einzuführende Luft erwärmt oder gekühlt werden muss.

Man darf noch beifügen, dass allzugrosse Anforderungen im täglichen Leben oft den Erfolg haben, dass — wegen der Schwierigkeit jenen zu genügen — gar Nichts geschieht.

Aus diesen Gründen ist obige „praktische Regel“ als eine unpraktische zu bezeichnen.

Der Einfluss des Luftkubus ist übrigens noch weiter zu untersuchen.

In einem kleinen Raume wird die Luft zwar schneller verdorben, als in einem grossen bei gleichen Quellen der Luftverunreinigung; es wird aber bei gleichem Luftwechsel aus dem kleinen Raume auch eine in höherem Grade verdorbene Luftmasse abgeführt als aus dem grossen.

Dazu kommt noch der sehr wichtige Umstand, dass die verderblichen organischen Substanzen in dem kleinen Raume weniger Zeit und Gelegenheit haben sich festzusetzen, daselbst in Fäulniss überzugehen und so die Luft weiter zu verderben.

Während also die angegebene Regel für kurze Raumbenützung einige Berechtigung hat, ist für längeren oder beständigen Aufenthalt gerade das Gegentheil begründet. Unter solchen Umständen darf im kleinen Raume das Ventilationsquantum geringer sein als im grossen.

In der That haben Wolffhügel und Lang*) auf Grund ihrer Luftuntersuchungen in Eisenbahnwagen sich berechtigt gesehen, die Pettenkofer'schen für grössere Räume aufgestellten Grenzwerthe 0,7 und 1 pro Mille für jene kleinen Räume auf 1 und 1,5 zu erhöhen.

---

*) Zeitschrift für Biologie 1877.

Soweit es sich um Ventilation von Localitäten in Gebäuden handelt, wird man den Luftkubus als wichtig und zwar den grösseren Raum als günstig ansehen müssen, wo der Raum jedesmal nur auf einige Stunden benützt wird, und um so mehr dann, wenn der Luftwechsel ein natürlicher oder spontaner, ein durch die Mauerporen und zufälligen Oeffnungen vor sich gehender ist, weil bei grösserer Ausdehnung der den Raum begrenzenden Flächen unter sonst gleichen Verhältnissen die Anzahl der Luftwege grösser ist. Bei längerer Benützung der Räume aber und bei der durch besondere Einrichtungen herbeigeführten Ventilation kann der Luftkubus ausser Beachtung bleiben, da sich die Vortheile und Nachtheile desselben nahezu compensiren werden, wenigstens die Grösse der jeweilig überwiegenden Einflüsse nicht festgestellt und in der Ventilationsanlage berücksichtigt werden kann.

Von besonderem Interesse ist es, zu vergleichen, wie sehr die Anforderungen in Betreff des Ventilationsquantums differiren und wie seit dem Jahre 1852 die Anforderungen gestiegen sind.

Eine solche Zusammenstellung giebt Häsecke in seiner „theoretisch-praktischen Abhandlung über Ventilation“ (1877), auf welche hiemit verwiesen wird. General Morin, dessen Anforderungen im Laufe der Zeit ebenfalls bedeutend gestiegen sind, verlangt jetzt als Ventilationsquantum pro Kopf und Stunde für:

Krankenhäuser für gewöhnliche Kranke	60 bis 70	Cubikmeter
„ für Verwundete und Wöchnerinnen	100	„
„ bei Epidemieen	150	„
Gefängnisse	50	„
Gewöhnliche Werkstätten	60	„
Werkstätten mit besonderen Quellen der Luftverunreinigung	100	„
Kasernen bei Tag	30	„
„ bei Nacht	40 bis 50	„
Theater	40 „ 50	„
Versammlungssäle je nach der Benützungsdauer	30 „ 60	„
Schulen für Kinder	12 „ 15	„
Volksschulen für grössere Schüler	15 „ 20	„
Schulen für Erwachsene	25 „ 30	„

Diese Anforderungen hält Lang*) „zum Theil für viel zu klein.“ Ich halte sie nach den obigen Mittheilungen und nach vielen anderen eigenen Beobachtungen für reichlich genügend und zweckentsprechend,

*) Ueber natürliche Ventilation 1877.

zum Theil sogar für unnöthig gross. So sind bei Schulen für Kinder bei dem verhältnissmässig kurzen Aufenthalte 10 Cubikmeter nachweislich genügend, um die Luft in guter Beschaffenheit zu erhalten, ebenso bei Schulen für Erwachsene 20 Cubikmeter. Aber die Ventilationseinrichtung muss eine solche sein, dass nicht die reine zugeführte Luft grossen Theils entweicht, ohne benützt zu sein, während die schlechteste Luft zurückbleibt.

§. 112.

Zufällige Einflüsse auf Luftverbesserung. Unterscheidung von spontaner, natürlicher und künstlicher Ventilation.

Wenn es feststeht, dass eine ungestörte Lebensthätigkeit ohne reine Luft nicht möglich ist, dass ferner die Erhaltung einer angenehmen, gesunden Luft einen nicht unbedeutenden Austausch der Zimmerluft gegen äussere reine Luft zur nächsten Bedingung macht; so entsteht dennoch die Frage, ob die nöthige Verbesserung der Luft nicht auch ohne besondere Lüftungsanlagen geschehen könne.

Die Poren der Wände, sowie die Ritzen und Fugen der Thüren und Fenster gestatten nicht nur die Ausgleichung der Gase durch Diffusion, sondern sogar den directen Durchgang der Luft. Die auf diesem Wege stattfindende Luftverbesserung muss jedenfalls durch verschiedene Umstände in höherem oder geringerem Grade modificirt werden.

Die folgenden Blätter sollen diese Umstände der Reihe nach erörtern; es wird desshalb zunächst von der Permeabilität der Wände in Rücksicht auf Diffusion und directen Luftdurchgang die Rede sein, alsdann von dem Luftzudrange durch Thüren und Fenster.

Den auf diesen Wegen vor sich gehenden Luftwechsel bezeichnen Manche als spontane, d. h. freiwillige Ventilation, verstehen dann unter natürlicher oder gemeiner Ventilation diejenige, welche mit Hülfe von besonders angebrachten Ventilationsöffnungen, Kanälen oder Röhren, aber durch die gewöhnlichen Temperaturdifferenzen erreicht wird, endlich unter künstlicher Ventilation den Luftwechsel, welcher sich mittels besonders erwärmter Ventilationsschächte oder mittels Maschinen bewerkstelligen lässt.

Andere bezeichnen nur die spontane Ventilation als natürliche, jede andere, bei welcher irgend eine Vorkehrung für Erzielung des Luftwechsels auf besonders angewiesenen Wegen ausgeführt ist, als künstliche Ventilation.

Im Grunde ist jede Ventilation eine natürliche, da jeder Luftwechsel ein natürlicher, ein auf Naturgesetzen beruhender Vorgang ist. Doch ist es zweckmässig, die Bezeichnung „natürlich“ im engeren Sinne aufzufassen, und ich verstehe, an der zweiterwähnten Bezeichnungsweise festhaltend, unter der natürlichen Ventilation den durch die Poren, Fugen und Ritzen der Bautheile stattfindenden Luftwechsel.

Zu der künstlichen Ventilation rechne ich dann jeden Luftwechsel mittels besonderer Luftführungseinrichtungen, mag die Luftbewegung in diesen durch die gewöhnlichen, zufälligen, oder durch besonders herbeigeführte Temperaturdifferenzen oder durch die Wirkung des Windes oder durch Maschinen veranlasst werden.

§. 113.

Luftverbesserung vermöge der Diffusion durch poröse Wände.

Gase verbreiten sich in anderen Gasen, in Flüssigkeiten und in porösen festen Körpern, sowie durch letztere hindurch vermöge der Diffusion, und diese Verbreitung eines Gases geht zufolge der Spannkraft um so schneller von Statten, je grösser die Differenz der Mengenverhältnisse und folglich der Spannungen dieses Gases in den betreffenden Luftmischungen der communicirenden Räume ist, hier nämlich jener Räume, welche durch eine poröse Wand getrennt sind, durch die Poren dieser Wand communiciren.

Die Diffusion geschieht nicht, wie manche aus der Wirkung der Spannkraft schliessen, mit der Geschwindigkeit, mit welcher die Luft in den leeren Raum einströmt oder in eine Luftmasse von geringerer Spannkraft; denn wenn auch mehrere Gase einen Raum ebenso gleichmässig ausfüllen, ebenso an jeder Stelle des ganzen Raumes gefunden werden, als ob jedes Gas für sich allein vorhanden wäre, so müsste doch von jedem einzelnen Gase eine grössere Menge vorhanden sein, um mit derselben Spannkraft, welche die Mischung hat, den Raum allein auszufüllen. Die Spannkraft einer Mischung aus verschiedenen Gasen ist gleich der Summe der Spannkräfte der einzelnen Gase. Enthält von zwei auch nur mittels sehr kleiner Oeffnungen, Poren, communicirenden Gefässen jedes ein anderes Gas, so müsste in einem Momente die Diffusion vollendet sein, wenn die Spannkräfte der beiden Gase sich nicht gegenseitig

Widerstand leisten würden (§. 75); die Erfahrung zeigt aber, dass die Diffusion nur allmählich vor sich geht.

Ist nun in einem Raume, welcher durch poröse Wände geschlossen ist, die Kohlensäure in einem grösseren Verhältnisse vorhanden als aussen, so muss die Kohlensäure zum Theil nach aussen durch die Wände dringen und ebenso muss umgekehrt die verhältnissmässig geringer gewordene Menge des Sauerstoffs im Raume das Eindringen des Sauerstoffs von aussen veranlassen. Ferner muss sich auch der im Raume durch Lebens- und Verbrennungsprocesse erzeugte Wasserdampf nach aussen verbreiten, und Gleiches gilt von den organischen Dämpfen.

Sehr leicht wird sich der Wasserdampf während seines Durchgangs durch die Wand, besonders wenn diese kalt ist, theilweise in der Wand condensiren, die Poren der Wand verstopfen und so den Austausch der Kohlensäure, des übrigen Wasserdampfes sowie der organischen Dämpfe gegen den Sauerstoff hindern. Die etwa nicht selbst dampfförmigen, aber mit dem Wasserdampf vermischten organischen Substanzen werden leicht an und in den Wänden festgehalten, wo sie alsbald durch Einwirkung von Feuchtigkeit und Wärme in Fäulniss übergehen.

Das Wasser hat die Eigenschaft, sowohl Sauerstoff als Kohlensäure in grosser Menge zu absorbiren. Sind also die Wände nass, ist ferner die Luft auf der einen Seite sauerstoffreicher, auf der anderen Seite reicher an Kohlensäure, so wird allerdings vom Wasser innen mehr Kohlensäure, aussen mehr Sauerstoff absorbirt, und beide Gase durchdringen alsdann das Wasser und folglich die Wand gleichmässig; allein die fernere Ausgleichung der Gase in der Luft auf beiden Seiten ist gehindert.

Die Diffusion der Gase kann also nur bei trocknen, warmen und sehr porösen Mauern einigen Einfluss auf Luftverbesserung haben.

Da überdies der Unterschied der äusseren und inneren Mischung bei einer Luft, die wir schon schlecht nennen müssen, sehr gering ist, also die Differenzen der Mengenverhältnisse und Spannungen der Gase ebenfalls sehr gering sind, so kann der Einfluss der Diffusion den übrigen auf Luftwechsel wirkenden Einflüssen gegenüber unberücksichtigt bleiben.

§. 114.

Lufterneuerung vermöge des directen Luftdurchganges durch die Wände.

Erleidet auf der einen Seite einer porösen Wand die Luft einen grösseren Druck, hat sie folglich eine grössere Spannkraft, als die Luft auf der anderen Seite, so muss eine Bewegung der Lufttheilchen in der porösen Wand nach jener Seite hin erfolgen, wo der Druck geringer ist, vorausgesetzt, dass der Ueberdruck bedeutend genug ist, die Hindernisse der Bewegung zu überwinden.

Wird in einem von porösen Wänden umschlossenen Raume, in welchem sonst keine Oeffnungen angebracht, auch Fussboden und Decke undurchlässig sind, eine Luftmasse erwärmt, so erleidet die Wand vermöge der durch die Wärmeaufnahme vergrösserten Spannkraft der Luft, die noch gehindert war, das entsprechend grössere Volumen anzunehmen, von innen einen grösseren Druck als von aussen, und die Folge davon ist, dass ein Theil der warmen Luft nach allen Seiten durch die Poren der Wände verdrängt wird. Währenddessen wird aber das specifische Gewicht der eingeschlossenen wärmeren Luft geringer als das der äusseren Luft, der specifische Druck, welchen die Wand erleidet, ist namentlich nahe am Boden innen geringer als aussen, die kalte Luft dringt durch die Poren in der unteren Hälfte der Wand ein und verdrängt einen Theil der warmen Luft durch die Poren in der oberen Wandhälfte nach aussen. Der auf diese Weise veranlasste Luftdurchgang wird höchst unbedeutend sein, wenn die Temperaturen nicht sehr verschieden sind, die Wände dagegen der Luftbewegung ziemlich grosse Hindernisse bieten, indem sie entweder zu grosse Dicke haben oder zu wenig porös oder zu nass sind.

Grössere Pressung, als die ist, welche durch gewöhnliche Temperaturdifferenzen verursacht wird, veranlasst ein heftiger Wind. Derselbe wird also auch grössere Hindernisse überwinden, einen besseren Luftdurchgang durch die Poren der Wand verursachen. Dass die Luft in Räumen mit geölten und getheerten Wänden zuweilen sehr dumpf und unangenehm ist, ebenso in Räumen, wo man durch Bekleidung der Wände mit Glastafeln, Bleiplatten, Asphalt, Theerpappe, Asphaltpapier u. dgl. die Feuchtigkeit abzuhalten sucht; dass ferner die Luft in Räumen, welche mit dünnen Mauern umgeben sind, ziemlich hoch liegen und desshalb den äusseren Luftströmungen mehr ausgesetzt sind,

angenehmer gefunden wird, als die Luft in Räumen mit sehr dicken Mauern, in Räumen, die zu ebener Erde oder gar unter der Erde liegen; — das Alles ist vielseitig bekannt, und ohne Zweifel ist hiebei die Permeabilität der Wände von vorzüglichem Einflusse.

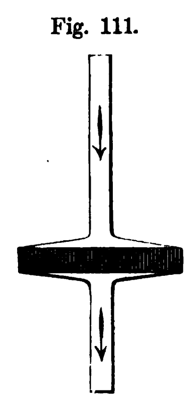
Folgender Versuch, welcher die Permeabilität der Wände in überraschender Weise veranschaulicht, wird von Pettenkofer mitgetheilt. Eine Ziegelsteinwand von ungefähr $^1/_4$ Quadratmeter Wandfläche ist mit Kalk und Sand auf luftdichter Unterlage aufgeführt. Die drei schmalen Seiten sind mit geöltem Gyps und Harzfirniss überzogen, die beiden grossen Wandflächen mit Metallplatten bedeckt, die in der Mitte von einem Rohrstück durchbohrt sind. Die Metallplatten sind mittels Schrauben und Klammern mit dem Mauerwerk verbunden und der luftdichte Schluss an den Rändern ist durch Klebwachs und Harzfirniss hergestellt. Verbindet man mit den erwähnten Rohrstücken auf der einen Seite ein Glasrohr, auf der anderen einen Kautschukschlauch, und leitet letzteren in Wasser, so erfolgt, wenn man in das Glasrohr bläst, ein lebhaftes Geräusch im Wasser; bläst man dagegen in den Kautschukschlauch, während man vor das Glasrohr eine brennende Kerze hält, so wird das Licht mit Leichtigkeit ausgeblasen.

Diese jedenfalls im ersten Augenblick überraschende Erscheinung, durch einfaches Blasen mit dem Munde auf der einen Seite einer Wand ein auf der anderen Seite befindliches Licht auslöschen zu können, erkläre ich mir auf folgende Weise:

Lässt man in eine verticale cylindrische Röhre oben Wasser einfliessen, so fliesst dasselbe ungehindert durch die Röhre und in der Zeiteinheit wird unten die gleiche Wassermenge ausfliessen, welche oben einfliesst. Bringt man nun in die Mitte der Röhre eine mit sehr engen Oeffnungen versehene horizontale Scheibe, so wird die Bewegung des Wassers gehemmt, und es wird nicht mehr dieselbe Wassermenge wie vorher in der Zeiteinheit durch die Röhre fliessen können. Hat die erwähnte horizontale Scheibe eine ziemliche Höhe, so hat man anstatt der engen Durchflussöffnungen eine ebenso grosse Menge enger Röhrchen und die durchfliessende Wassermenge ist noch geringer, weil nun die Adhäsion und Reibung des Wassers in den Röhrchen, unter Umständen die Capillarattraction, die Bewegung noch mehr verzögern. Sind endlich die Röhrchen auch nicht regelmässig, sondern gekrümmt und mit Verengungen versehen, so wird die Geschwindigkeit noch mehr vermindert. Sollten die Bewegungshindernisse so gross geworden sein, dass der Durchfluss gänzlich aufgehört hat, so kann man durch Verlängerung der Hauptröhre über den engen Röhrchen oder überhaupt durch Ver-

grösserung des Druckes eine gewisse Ausflussgeschwindigkeit erzielen, und ist diese auch noch sehr gering, so kann man die Anzahl der engen Röhrchen so vermehren, somit die Scheibe und den Theil der Hauptröhre so erweitern, dass durch alle Röhrchen zusammen nun dieselbe Wassermenge fliesst, wie anfänglich ungehindert durch die cylindrische Röhre; denn der specifische Druck, der Druck für die Flächeneinheit, bleibt gleich gross, so viel man auch die Scheibe erweitern mag. (Fig. 111).

Fig. 111.



Die Luft ist, wie das Wasser, eine Flüssigkeit, wenn auch in Bezug auf Elasticität von anderer Beschaffenheit. Die bei dem oben angegebenen Versuche benutzte Ziegelsteinwand lässt sich als ein System von sehr vielen unregelmässigen Röhrchen ansehen, und durch jedes dieser Röhrchen wird die Luft mit einer Kraft getrieben, welche mit der Erhöhung der Spannkraft der Luft auf der einen Seite oder dem Ueberdrucke wächst. Auf beiden Seiten hat die Luft anfänglich die Spannkraft, welche dem jeweiligen Luftdrucke entspricht; durch das Einblasen einer neuen Luftmenge in den abgeschlossenen Raum kann die Spannkraft der Luft, folglich der specifische Druck auf die eine Fläche der Wand bedeutend erhöht werden. Die Widerstände der Luftbewegung in den engen unregelmässigen Gängen müssen allerdings auch sehr bedeutend sein; dessenungeachtet kann bei der verhältnissmässig grossen Anzahl dieser Gänge bei einer Wandfläche von $^1/_4$ Quadratmeter eine grosse Menge Luft durch die Wand fliessen, wenn auch die Geschwindigkeit eines jeden Lufttheilchens sehr gering ist.

Die auf die Flächeneinheit der Wandfläche wirkende Pressung ist von der Grösse der Einblaseöffnung sowie von der Form und Weite der Einblaseröhre unabhängig; es geht dieses unmittelbar aus den Lehrsätzen von der Fortpflanzung des Druckes in Flüssigkeiten, speciell aus dem hydrostatischen Paradoxon hervor. Mittels einer sehr geringen Menge einer Flüssigkeit kann man bei entsprechender Röhrenform einen ungeheuren Druck ausüben. Die Pressung richtet sich im vorliegenden Falle nur nach der Kraft, mit welcher der Einblasende mittels seiner Lunge die Luft im Apparate comprimirt. Nun ist, um diese Pressung hervorzubringen, nothwendig, dass eine gewisse Luftmenge in die Röhre geblasen wird, und diese Luftmenge muss für gleiche Pressung um so grösser sein, je weiter und länger das Einblaserohr ist. Doch hat die Beschaffung der nöthigen

Luftmenge keine Schwierigkeit, wenn die Dimensionen der Röhre nicht übermässig gross gewählt sind; denn bei ruhigem Athemholen nimmt der Erwachsene ungefähr $1/2$ Liter Luft in seine Lunge auf, vermag aber bei tiefem Athemholen etwa das Fünffache aufzunehmen. Man überzeugt sich hiervon leicht, indem man eine hinlänglich grosse Flasche mit Wasser füllt, dieselbe verkehrt in ein Becken mit Wasser bringt, so dass sich die Mündung der Flasche unter Wasser befindet. Bläst man nun, nachdem man ziemlich tief geathmet hat (wie man es unwillkürlich thut, wenn man zu blasen beabsichtigt), mittels einer gebogenen, mit einem Schenkel in die Flasche emporgerichteten Röhre (Heberröhre, Kautschukschlauch) die durch den einen Athemzug aufgenommene Luft in die Flasche, so entweicht sogleich eine dem Volumen der eingeblasenen Luft gleiche Wassermenge aus der Flasche in das Becken, und das Volumen des verdrängten Wassers oder auch unmittelbar der in die Flasche geblasenen Luft ist leicht zu berechnen. Auf diese Weise kann man ohne übermässige Anstrengung durch einmaliges Entleeren der Lunge etwa $2\,1/2$ Liter Luft in die Flasche bringen, also überhaupt diese Menge ausblasen.

So kann in der engen Einblaseröhre die Luft durch Einblasen leicht in hohem Grade verdichtet werden, und nun presst die Luft mit der erhöhten Spannkraft alle Lufttheilchen in der Wand, treibt folglich dieselben nach der anderen Seite. Die sehr vertheilt mit geringer Geschwindigkeit durch die Wand fliessenden Lufttheilchen werden nun wieder, in einer engen Röhre vereinigt, einen um so intensiveren Luftstrahl bilden, einen um so mehr wahrnehmbaren Effect hervorbringen, je enger der Weg ist, durch welchen sich die vereinigten Lufttheilchen bewegen müssen; so kann es leicht geschehen, dass die Geschwindigkeit, die Stärke des Luftstroms bedeutend genug wird, um eine Flamme auszulöschen.

Dass sich diese allgemeine Betrachtung nach Erforderniss für den vorliegenden Fall specieller durchführen lässt, werden einige Zahlen beweisen.

Zunächst wird es sich um die Grösse der Verdichtung und Erhöhung der Spannkraft der eingeschlossenen Luft handeln. Füllt man eine heberförmige Röhre, deren offene Mündungen nach oben gerichtet sind und die eine solche Länge hat, dass die beiden Mündungen sich etwa in einer Höhe von $1\,1/4$ Meter über dem tiefsten Punkte der Röhre befinden, mit Wasser, und bläst man alsdann in den einen der beiden

Schenkel, indem man die Lippen an dessen Mündung dicht anschliesst, so kann man ohne besonders grosse Anstrengung auf diese Weise bewirken, dass der Wasserspiegel auf der einen Seite um mehr als 1 Meter tiefer zu stehen kommt als auf der anderen. Die Höhe der Wassersäule, welche so vermöge der durch die Lunge hervorgebrachten Erhöhung der Spannkraft der eingeschlossenen Luft getragen wird, ist der zehnte Theil einer den ganzen Atmosphärendruck oder die Spannung einer Atmosphäre repräsentirenden Wassersäule; die Kraft der Lunge hält also einer Spannung von $^1/_{10}$ Atmosphäre das Gleichgewicht. Auf 1 Quadratmeter beträgt der Atmosphärendruck 10 333 Kilogramm, folglich der Druck der Lunge 1033 Kilogramm und dieser auf $^1/_4$ Quadratmeter 258,3 Kilogramm. Auf die Wandfläche von $^1/_4$ Quadratmeter kann man also durch das Blasen ohne zu grosse Anstrengung einen Druck von 258 Kilogramm ausüben.

Denkt man sich die Metallplatte an der Seite der Einblaseröhre weggenommen und die Wandfläche normal gegen die Richtung eines Windes gestellt, so kann hierdurch dieser Druck nicht hervorgebracht werden, da auf 1 Quadratmeter die Pressung des Windes bei der Geschwindigkeit eines Orkans oder bei etwa 40 Meter in der Secunde nur etwa 208 Kilogramm beträgt (§. 88). Die Geschwindigkeit, welche der Wind haben müsste, um auf 1 Quadratmeter den Druck von 1033 Kilogramm auszuüben, bestimmt sich nach dem Ausdrucke

$$P = 0{,}13 \,.\, v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{1033}{0{,}13}} = 89{,}14 \text{ oder rund 90 Meter}$$

in der Secunde. Das ist eine bei uns nicht vorkommende Geschwindigkeit des Windes.

Um die Geschwindigkeit zu finden, mit welcher die Lufttheilchen in Folge der durch das Einblasen veranlassten Pressung von $^1/_{10}$ Atmosphäre durch die Wand strömen würden, wenn die Widerstände der Bewegung nicht vorhanden wären, kann man die allgemeine theoretische Geschwindigkeitsgleichung (§. 75) benützen:

$$C = \sqrt{2\, g\, H \left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}$$

wonach sich ergiebt

$$C = 396 \sqrt{0{,}1} = 125{,}23 \text{ Meter,}$$

oder auch die einfache Formel (§. 80):

$$C = 125 \sqrt{H}$$

wobei für die gehobene Wassersäulenhöhe 1 Meter wird:

$$C = 125 \text{ Meter in der Secunde.}$$

Nimmt man an, dass die Geschwindigkeit bei ungehindertem Luftdurchgange auch nur 100 Meter in der Secunde wäre, dass ferner die Poren der Wand nur $^1/_{100}$ der ganzen Fläche ausmachen, dass endlich die Geschwindigkeit in diesen Poren selbst durch die Unregelmässigkeit derselben, durch Adhäsion und Reibung von 100 Meter auf 1 Meter, also auf $^1/_{100}$ der ursprünglichen Geschwindigkeit vermindert werde, so ist diese Geschwindigkeit des Ausflusses aus den Poren schon an sich durch das Gefühl wenig wahrnehmbar, und um so weniger bei der grossen Vertheilung, indem nach der gemachten Annahme von je 100 Lufttheilchen an der Wandfläche nur ein einziges in Bewegung ist. Die Intensität des Ausflusses an der ganzen Wandfläche muss dieselbe sein, als wenn unter Annahme des Querschnittes $^1/_4$ Quadratmeter für die bewegte Luftmasse sich sämmtliche Lufttheilchen mit $^1/_{10\,000}$ der ursprünglichen oder ungehinderten Geschwindigkeit bewegen. Dann würde also an der freien hinteren Fläche die Luft mit der Geschwindigkeit $^{100}/_{10\,000} = 0{,}01$ Meter $= 1$ Centimeter in der Secunde abfliessen, und diese Geschwindigkeit zu beobachten — dazu müsste man ausserordentlich empfindliche Instrumente besitzen.

Werden die vertheilt aus den einzelnen Poren mit der Geschwindigkeit 1 Meter ausfliessenden Lufttheilchen in einer Röhre vereinigt, deren Querschnitt $^1/_{100}$ der Wandfläche beträgt, so werden sich immerhin die vereinigten Lufttheilchen in dieser Röhre mit ihrer Geschwindigkeit 1 Meter in der Secunde fortbewegen. Ist aber die Röhre enger, und müssen in Folge der Pressung alle Lufttheilchen, welche in der Zeiteinheit durch die Wand gelangen, auch in der Zeiteinheit durch die Röhre fliessen, so verhalten sich die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Querschnitte der Luftströme. Hat die Röhre nur $^1/_{1000}$ der Wandfläche zum Querschnitt, also $^1/_{10}$ der vorhin angenommenen Röhre, so muss die Geschwindigkeit 10mal so gross wie vorhin, nämlich $= 10$ Meter in der Secunde werden. Der Querschnitt der Röhre wäre nun im letzten Falle $\frac{0{,}25}{1000}$ Quadratmeter $= 2\,^1/_2$ Quadrat-Centimeter.

Der mit der Geschwindigkeit von 10 Meter in der Secunde durch eine Röhrenmündung von $2\,^1/_2$ Quadrat-Centimeter gegen eine Kerzenflamme fliessende Luftstrom vermag jedenfalls die Flamme sogleich auszulöschen.

Eine ziemlich grosse Luftgeschwindigkeit ist hierfür immerhin nothwendig. Ich habe mit einer Stearinkerze Versuche in dieser Richtung

angestellt. Um Ablenkung und Verkleinerung einer Flamme zu erreichen, genügten geringe Geschwindigkeiten; bei $1/2$ Meter in der Secunde, einer durch das Gefühl kaum wahrnehmbaren Luftbewegung, ist die Ablenkung schon sehr stark. Aber um das Licht sogleich auszulöschen, war eine Geschwindigkeit von 5,12 Meter nothwendig. Bei 5 Meter gelang das Auslöschen noch von Zeit zu Zeit nach längerer Abkühlung des Dochtes und Verkleinerung der Flamme, bei Geschwindigkeiten unter 5 Meter jedoch nicht mehr, wenn einmal die Flamme lebhaft brannte.

Man wird nach dem Obigen leicht erkennen, dass man mittels des Blasens bei dem erwähnten Apparate noch eine viel grössere Geschwindigkeit als die von 10 Meter in der Secunde für die ausfliessende Luft hervorbringen kann. Eine sehr bemerkbare Wirkung kann selbst dann noch erzielt werden, wenn die Porosität des die Wand bildenden Materials sehr gering ist, wenn also auch die Hindernisse der Bewegung sehr gross sind.

Unsere gewöhnlichen Bausteine, besonders die Ziegelsteine sind in viel höherem Grade porös, als dass die hohlen Räume nur $1/100$ der eigentlichen Steinmasse ausmachen würden. Man überzeugt sich davon sehr einfach dadurch, dass man einen Stein einige Zeit in Wasser legt und aus der Gewichtszunahme den Raum bestimmt, den das Wasser nun einnimmt; derselbe Raum muss vorher hohl, mit Luft ausgefüllt gewesen sein.

Um für obige Untersuchung die nöthigen Anhaltspunkte zu gewinnen, wählte ich vier Steine von gleicher Form und Grösse, nämlich einen sehr porösen Ziegelstein, einen anderen von feinerer, compacterer Masse, einen getrockneten ungebrannten Lehmstein (Luftstein) und einen Sandstein. Diese vier Steine benetzte ich zugleich (aber nur an der oberen breiten Fläche, weil hohle Räume nicht immer eigentliche Poren oder Durchgänge sind; namentlich bei schlackenartigen Körpern bestehen hohle Räume ohne gegenseitige Verbindung) mit Wasser, und wiederholte das während einer Stunde mehrmals, nachdem jedesmal das Wasser in die Steine eingedrungen war. Eine darauf folgende Wägung ergab folgende Gewichtszunahme:

Der porösere Ziegelstein hatte 15 Procent an Gewicht zugenommen, der weniger poröse Ziegelstein 6,8, der Lehmstein 2, der Sandstein 0,7 Procent.

Das specifische Gewicht der eigentlichen Masse dieser Steine kann $= 2$ angenommen werden.

Da sich für bestimmte Gewichtsmengen die Räume umgekehrt ver-

halten, wie die specifischen Gewichte, so beträgt das Wasser im ersten Ziegelstein 30 Raumprocente (nämlich in Bezug auf die Ziegelmasse; im ganzen Raume betrachtet nur $^{30}/_{130}$) bei dem andern Ziegelstein 13,6, bei dem Lehmstein 4, bei dem Sandstein 1,4 Raumprocente.

Bei dem erwähnten Verfahren, welches für den speciellen Fall hinlänglich dem Zwecke entsprach, wurden natürlich nicht alle Poren mit Wasser ausgefüllt; nimmt man aber, offenbar zum Nachtheil der berechneten Geschwindigkeit, sogar die vollständige Durchdringung an, so mussten immer noch bei dem am wenigsten porösen Steine, dem Sandstein, auf jeden Querschnitt die Poren ungefähr $\frac{1,4}{100}$ der ganzen Fläche betragen, während oben zu ganz besonderer Sicherheit nur $^{1}/_{100}$ als das Verhältniss der Wandfläche zu den Poren angenommen wurde.

Die Permeabilität der Wände ist somit ausser Zweifel gestellt. Zugleich erkennt man aber auch, dass der wirkliche Luftdurchgang je nach der hygroskopischen Beschaffenheit und Porosität des Materials, nach den Dimensionen der Wände, nach der Lage des Ortes und insbesondere des Raumes, nach den verschiedenen Einflüssen der Witterung u. s. w. sehr verschieden sein muss.

Wird bei dem obigen Apparate das zwischen die beiden Metallplatten eingeschlossene Mauerwerk stark befeuchtet, so ist es mit der heftigsten Anstrengung der Lunge nicht mehr möglich, das Licht auszublasen.

Was ferner die Pressung des Windes angeht, so ist diese um so grösser, je mehr sich die Richtung des Windes der Normalen gegen die Fläche nähert; genauer ausgedrückt: die Pressung des Windes ist der zweiten Potenz des Sinus des Winkels proportional, unter welchem der Wind die Fläche trifft (§. 88). Setzt man eine gut trockne und poröse Wand von mittlerer Dicke voraus, so kann man mit Pettenkofer annehmen, dass die Geschwindigkeit des Windes, welche ausserhalb des Raumes 3 Meter beträgt, nach dem Durchgange durch die Wand auf 1 Millimeter in der Secunde gemässigt ist. Hiebei ist aber die Richtung des Windes als normal gegen die Wandfläche anzunehmen, für welchen Fall die Pressung auf 1 Quadratmeter bestimmt ist durch die Gleichung (§. 88 Gleichung III):

$$P = 0{,}13 \,.\, 3^2 = 1{,}17 \text{ Kilogramm.}$$

Auf eine schräge Fläche $F = 1$ Quadratmeter wäre der Normaldruck, welcher hier zur Wirkung gelangen würde, nämlich die Seitenkraft N des Stosses nach §. 88 Gleichung VII

$$N = \zeta \frac{v^2}{2g} p F \sin^2 \alpha$$

wobei $\zeta \frac{v^2}{2g} p = 0{,}13$ gesetzt werden kann.

Ist der Neigungswinkel α des Windes von 3 Meter Geschwindigkeit gegen die Mauerfläche 45°, so ist

$$N = 0{,}13 \,.\, 3^2 \sqrt{\frac{1}{2}}^2 = 1{,}17 \,.\, \frac{1}{2} = 0{,}585 \text{ Kilogramm.}$$

Für den Neigungswinkel $\alpha = 30^0$ wäre

$$N = 1{,}17 \,.\, \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1{,}17}{4} = 0{,}2925 \text{ Kilogramm.}$$

Durch die Abnahme dieser Pressung muss zugleich die Geschwindigkeit des Luftdurchgangs abnehmen, und da eine nur geringe Pressung leicht durch die Widerstände der Bewegung gänzlich ausser Wirksamkeit gesetzt wird, so bedingt die unmittelbare Lufterneuerung in einem Raume durch die Poren der Wände zunächst, dass der Raum eine dem Winde zugekehrte Wand habe. Die auf den Seiten und auf der vom Winde abgekehrten Wand eines Gebäudes durch Reibung und absolute Luftverdünnung veranlasste oder begünstigte Strömung der Luft durch die Poren der Wände wird nur unter sehr günstigen Umständen von erheblichem Einflusse sein.

§. 115.

Weitere Mittheilungen und Schlussbemerkungen über die Permeabilität der Wände.

Die vorerwähnten Ermittelungen in Betreff der Porosität einiger Steine wurden von mir im Jahre 1859 gemacht und eben nur für den Zweck der vorgeführten Untersuchung, weil es an den nöthigen Grundlagen hierfür fehlte.

Ich sehe mich zu dieser Bemerkung veranlasst, weil C. Lang in seinem Buche „über natürliche Ventilation“ S. 101 die von mir gefundenen Zahlen reproducirt, wonach man ihnen eine grössere Bedeutung beimessen könnte, als ich selbst für gerechtfertigt halte.

Im Vergleiche zu den von Lang*) selbst, sowie von Schürmann**)

---

*) Zeitschrift für Biologie, 1875.

**) Jahresbericht der chemischen Centralstelle für öffentliche Gesundheitspflege, 1874.

und Märcker*) ermittelten Werthen, welche Lang zusammenstellt, sind die meinigen, namentlich der für Sandstein, zu klein, was jedoch die Sicherheit der darauf gegründeten allgemeinen Schlussfolgerung nur noch erhöht.

Im Anschluss an eine grössere Tabelle giebt Lang (S. 104) eine „Zusammenstellung der Porosität gleichartiger Steine“ wie folgt in Mittelwerthen:

Lockere Sandsteine	haben	21,65	Procent	Hohlräume.
Dichte Sandsteine	„	9,31	„	„
Poröse Ziegel	„	31,01	„	„
Dichte Ziegel	„	12,72	„	„
Dichte Schlackensteine	„	24,00	„	„
Lockere Schlackensteine	„	69,00	„	„
Cendrinsteine	„	56,00	„	„
Gyps	„	51,00	„	„

Aus der Haupttabelle entnehme ich dazu noch

Granit	0,05 bis	0,61	Procent	Hohlräume.
Kalkbruchstein. . .		17,70	„	„
Kalktuffstein . . .	20,2 „	32,2	„	„
Luftmörtel		26,0	„	„
Beton.		19,1	„	„
Portlandcement . .		17,8	„	„

Unter Schlackensteinen hat man nicht Hohofenschlacken zu verstehen, sondern ein Gemisch von diesen oder von Steinkohlenschlacken in zerkleinertem Zustande mit gelöschtem Kalk u. dgl.

Die seit ungefähr 3 Jahren in München fabricirten Cendrinsteine bestehen aus einem Gemisch von schwarzem Kalk und Strassenschmand.

Die vorstehenden Zahlen führen zu der Folgerung:

Wenn sogar bei Benutzung eines so ausnahmsweise dichten Steines, wie es der von mir in Rechnung gezogene Sandstein war, die Möglichkeit des reichlichen Luftdurchgangs bei dem geschilderten Experiment einleuchtet, so ist der Luftdurchgang bei poröserem Material um so bedeutender und zwar bei sehr porösem Material in dem Grade, dass man

---

*) Landwirthschaftliche Jahrbücher 1876.

Schultze und Märcker: Ueber den Kohlensäuregehalt der Stallluft und den Luftwechsel in Stallungen, Göttingen 1869.

Märcker: Untersuchungen über natürliche und künstliche Ventilation sowie über die Porosität einiger Baumaterialien, Göttingen 1871.

nicht nothwendig hat, mit einer Fläche von 1/4 Quadratmeter zu experimentiren, dass bei Backsteinen und ähnlichem porösen Material schon die Fläche eines einzigen Steins und sogar die pfropfartige Ausfüllung einer Röhre genügt, um den Luftdurchgang durch Einblasen nachzuweisen. Wirklich sind auch später von Pettenkofer und Anderen Experimente in dieser Weise angestellt worden.

Die Durchfeuchtung der Materialien haben Schürmann, Märcker und Lang dadurch bewerkstelligt, dass sie dieselben unter destillirtem Wasser bis zur Siedetemperatur erwärmten, darin abkühlen liessen und so lang in Wasser aufbewahrten, bis der einzelne Körper an die Reihe der Untersuchung kam.

Ich halte diese Durchfeuchtung aus den oben und schon in der ersten Auflage dieses Buches angegebenen Gründen nicht für ganz zweckentsprechend und Lang sagt ebenfalls auf Seite 116:

„Aus dem Wasserfassungsvermögen auf die Durchlässigkeit von Baumaterialien zu schliessen, ist im Allgemeinen eine etwas unsichere Methode und scheint nur statthaft bei Materialien von regelmässigem Korn.“

Wie man bei Holz aus dem Wasserfassungsvermögen nicht entfernt auf den Luftdurchgang in normaler Richtung zu den Fasern schliessen kann, so wird, wenn auch in viel geringerem Grade, Aehnliches bei Steinen vorkommen.

Abgesehen von den blasenartigen Hohlräumen, die nicht als Durchgänge gelten können, wird es bei geschichteten Steinen einen nicht unbedeutenden Unterschied für den Luftdurchgang machen, ob dieser in der mit den Schichten parallelen oder dazu normalen Richtung stattfindet.

Auffallend und wichtig ist der Unterschied zwischen Luftmörtel und Gyps. Obwohl die Hohlraumprocente für Gyps fast doppelt so gross gefunden worden sind wie für Luftmörtel, so ist doch Gyps nur in geringem und Luftmörtel in hohem Grade durchlässig.

Bei Lang's Versuchen war unter gleichen Umständen der Luftdurchgang

bei Luftmörtel	3264	Liter
bei gegossenem Gyps nur . .	146	„
bei Backsteinen	312 bis 1398	„
bei Sandsteinen	426 „ 468	„

Diese Luftmengen für 1 Quadratmeter und eine Stunde wurden ermittelt mit 3 Centimeter dicken Versuchsstücken bei einem Ueberdruck 0,0108 Kilogramm auf 1 Quadratcentimeter, der also einer Wassersäulen-

höhe von 108 Millimeter oder einer Pressung von 108 Kilogramm auf 1 Quadratmeter entspricht.

Nach §. 88 kann die gleiche Pressung durch einen rechtwinkelig gegen eine Wand gerichteten Wind von ungefähr 28 Meter Geschwindigkeit ausgeübt werden, also durch einen — allerdings bei uns nicht leicht vorkommenden — Orkan.

Hat der Wind den zehnten Theil dieser Geschwindigkeit, was ungefähr die mittlere Geschwindigkeit bei uns ist, so ist der Druck und folglich der Luftdurchgang nur der hundertste Theil; denn die Windpressung wächst mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit, und die unter Druck durch eine poröse Wand geförderte Luftmenge ist diesem Drucke nahezu direct proportional (Lang S. 76).

Ferner ist auch die unter constantem Drucke durch (homogenes) poröses Material fliessende Luftmenge der Dicke der Wand umgekehrt proportional (Lang S. 80).

Bei einer Mauerdicke von 50 Centimeter und einer Windgeschwindigkeit von nahezu 3 Meter würde, wenn der Wind fast rechtwinkelig gegen die Wand gerichtet ist, der Luftdurchgang bei Annahme des höchsten Werthes für poröse Backsteine sein:

$$1398 \cdot \frac{1}{100} \cdot \frac{3}{50} = 0{,}84 \text{ Liter.}$$

Mit Rücksicht auf die grössere Durchlässigkeit des Luftmörtels kann man 1½ Liter herausrechnen; aber das ist noch ausserordentlich wenig im Vergleich zu dem bei Beobachtungen in Zimmern constatirten natürlichen Luftwechsel. Dieses ist um so auffallender, da alle Wandbekleidungen den Luftdurchgang vermindern. Eine Erklärung findet sich in der gewöhnlichen Art der Ausführung des Mauerwerks, wobei die Fugen keineswegs dicht mit Mörtel ausgefüllt werden, sondern zahlreiche Höhlungen, Luftgänge bleiben, bei deren Verschiedenheit und Unregelmässigkeit jede Berechnung aufhört.

Aus den angegebenen Zahlen geht hervor, dass mit gewöhnlichem Mörtel verputzte Wände verhältnissmässig viel Luft durchlassen, sehr wenig aber die mit Gyps verputzten Flächen.

Die Wandbekleidungen, auch Decken und Fussböden, weiter betreffend, ordnen sich die hierzu verwendeten Materialien in der folgenden Weise nach der Abnahme der Permeabilität (Lang S. 91):

1) Anstrich mit Kalkfarbe.
2) Anstrich mit Leimfarbe.
3) Tapetenüberzug, welcher die Durchlässigkeit um so mehr verringert, je dichter der Klebstoff ist.

4) Oelfarbenanstrich, der anfangs völlig verschliesst, aber auch nach Jahren noch eine starke Behinderung der Durchlässigkeit bleibt.
5) Wasserglasanstrich, der nach Märcker im Laufe der Zeit immer dichter wird und allmählich völligen Verschluss bilden dürfte.

Möglichste Verminderung der Permeabilität ist in mancher Hinsicht sehr erwünscht und für manche Bautheile anzustreben, nämlich oft an Zwischenwänden, Decken und Fussböden; denn der Uebergang der Luft aus neben einander liegenden Räumen kann sehr unwillkommen und hygienisch nachtheilig sein, und noch mehr gilt dieses von über einander liegenden Räumen, wo durch den grösseren Ueberdruck hoher Luftsäulen der Luftdurchgang begünstigt wird. Desshalb ist in den meisten Fällen dafür Sorge zu tragen, dass die Decken und Fussböden möglichst dicht ausgeführt werden.

Zweckentsprechend ist die Construction der Decken und Fussböden, wie sie längst in bessern Häusern üblich ist. Ich will nur einige Bemerkungen in Betreff der Unterfüllung der Fussböden hier Platz finden lassen.

Als Unterfüllungsmaterial verwendet man häufig Bauschutt, Kohlenschlacken, in neuerer Zeit mitunter Schlackenwolle. Durch erstere Ausfüllungen wird oft der Hausschwamm in Gebäude gebracht und durch die Schlackenwolle die Bildung von Schwefelwasserstoff veranlasst, wenn die Schlackenwolle nicht entsprechend präparirt ist (vgl. §. 102); dieses nebenbei. In Bezug auf Behinderung der Durchlässigkeit eignen sich diese Materialien ebenfalls nicht; das beste ist unstreitig das Material, welches man schon in alter Zeit vorzugsweise in Anwendung gebracht hat: reiner Sand, der natürlich vorher gehörig getrocknet ist. Sand ist zwar nicht undurchlässig für Luft, aber er verhindert den Luftdurchgang bei geringem Ueberdruck in so hohem Grade, dass man ihn unter gewöhnlichen Verhältnissen als dicht schliessend ansehen kann.

Eine theils vermöge der Diffusion der Gase, theils vermöge des directen Luftdurchgangs durch die Wände zu erwartende belangreiche Luftverbesserung und Lufterneuerung ist, wenn man obige Betrachtungen zusammenfasst, von folgenden Bedingungen abhängig:

Nicht zu grosse Dicke der Mauern, poröses Material, Wärme und Trockenheit der Wände; grosse Temperaturdifferenzen und nicht zu grosse Feuchtigkeit der zu wechselnden Luftmassen; heftige Luftströmungen, Winde; freie Lage gegen die Richtung des Windes.

Dass mitunter die Permeabilität der Wände ausserordentlich gering ist, wenigstens für den nothwendigen Luftwechsel nicht genügt, das beweist die einem Jeden bekannte Thatsache, dass in vielen Wohnungen die Luft sehr schlecht ist; ferner beweisen es die von Chemikern vorgenommenen Analysen des Mörtels sehr alter Mauern. Im Innern sehr dicker, mehrere Jahrhunderte alter Mauern hat man noch Aetzkalk gefunden, während bei schwächeren Mauern und auch aussen bei den stärkeren der Aetzkalk vollkommen in neutralen kohlensauren Kalk umgewandelt war. Diesen Umstand muss man daraus erklären, dass die Kohlensäure der Luft, folglich die Luft selbst die starken Mauern aus sehr dichtem Material nicht durchdringen konnte.

Da also obige Bedingungen für die Luftverbesserung auf diesem Wege nicht immer genügend, häufig gar nicht erfüllt sind, so wird man die Permeabilität der Wände als Ursache der hinreichenden Luftverbesserung im Allgemeinen nicht betrachten dürfen, wenigstens nicht bei unserer üblichen Bauweise. Dass sich bei einer mit Rücksichtnahme auf die verschiedene Durchlässigkeit der Baumaterialien geänderten Bauweise bedeutende Vortheile in Bezug auf den Luftwechsel und damit auf Annehmlichkeit und Gesundheit erreichen lassen, ist gewiss.

Dessenungeachtet glaube ich diesen Gegenstand verlassen zu dürfen, da diese „natürliche Ventilation“ im engsten Sinne, der Luftwechsel in Folge der Permeabilität der Baumaterialien, in neuesten Schriften nach praktischer und theoretischer Richtung ausführlich beleuchtet worden ist. Ich verweise auf die bereits citirten Abhandlungen und ferner noch auf das in mehrfacher Beziehung interessante und lehrreiche Buch: „Das städtische Wohnhaus der Zukunft“ von H. Meiners. Stuttgart bei Thiele 1879, dann auf die neuesten wissenschaftlichen Abhandlungen von Dr. G. Recknagel: „Theorie des natürlichen Luftwechsels“ in den Sitzungsberichten der k. b. Akademie der Wissenschaften in München 1878, 4. Math.-phys. Kl., und in der Zeitschrift für Biologie 1879.

§. 116.

Luftzudrang durch Thüren und Fenster.

Oeffnet man die Thür zwischen einem kälteren und wärmeren Raume, ganz oder theilweise, und bringt eine brennende Kerze in die Nähe der Thür, so bemerkt man an der Richtung der Flamme sehr

deutlich, dass durch die untere Hälfte der Thüröffnung die kältere Luft nach dem wärmeren Raume, durch die obere Hälfte die wärmere Luft nach dem kälteren Raume fliesst; dasselbe kann man auch bei einem geöffneten Fenster beobachten, wenn die äussere Luft ziemlich ruhig ist. Sind Thür und Fenster, oder mehrere Fenster an verschiedenen Wänden zugleich offen, so findet man wohl nicht an jeder einzelnen Oeffnung immer die erwähnte Doppelströmung, aber es zeigt die Richtung der Flamme dann ganz entschieden eine Strömung nach einer Seite hin.

Solche Luftströmungen finden durch die engsten Ritzen und Fugen der Thüren und Fenster statt, und zwar sowohl durch Temperaturdifferenzen veranlasst, als auch durch den Wind, welcher je nach seiner Richtung einerseits frische Luft durch jene engen Oeffnungen zuführt, andererseits den Ausfluss schlechter Luft begünstigt. Endlich bieten auch die Oeffnungen an Thüren und Fenstern für die Luftverbesserung durch Diffusion der Gase viele Wege.

Dass jedoch diese bei gewöhnlichem Verschlusse der Thüren und Fenster von selbst vor sich gehende Luftverbesserung nicht hinreichend ist, zeigt eine muthmassliche Berechnung nach den früher angegebenen Regeln, wenn man dabei auch sehr schlecht schliessende Thüren und Fenster voraussetzt. Schon das Geruchsorgan nöthigt uns diese Ueberzeugung auf, wenn wir in ein Zimmer treten, wo sich längere Zeit mehrere Personen bei gewöhnlichem Verschlusse aufgehalten haben, und nicht durch Cigarrenrauch oder sonstige Mittel die schlechteren Gerüche maskirt sind. Auch sucht man bekanntlich den sogenannten Luftzug durch Thüren und Fenster im Allgemeinen, und in gewisser Beziehung mit Recht, so viel als möglich zu vermeiden. Man sucht die Fenster so dicht als möglich zu schliessen, verstopft und verstreicht häufig die Ritzen, polstert oder benagelt die klaffenden Fugen der Thüren und Fenster mit Gummischläuchen, Tuchbändern u. dgl., bringt auch Vorthüren und Doppelfenster an, um das Eindringen kalter Luft möglichst zu verhüten. In so verwahrten Räumen findet man gewöhnlich eine sehr übelriechende, ungesunde, deprimirende Luft.

Allerdings ist es auf der anderen Seite, wenn nämlich nicht für guten Verschluss der Thüren und Fenster Sorge getragen wird, auch wieder für diejenigen Personen, welche sich in der Nähe der Thür oder eines Fensters aufhalten müssen oder wollen, sehr unangenehm und der Gesundheit nachtheilig, mit einzelnen Theilen des Körpers dem kalten Luftstrome ausgesetzt zu sein.

Durch Einsetzen von Windrädchen oder Drahtgittern u. dgl. in eine

oder einige der Fensterscheiben oder durch Oeffnen der Fenster wird der nöthige Luftwechsel selten, und wenigstens wieder nicht auf behagliche Art erzielt. Vollständig kann die Luft aus einem Raume durch eine Oeffnung am Fenster und auch sogar durch das ganze geöffnete Fenster nie umgewechselt werden, wenn das Fenster nicht bis an die Decke reicht. Dieses findet man aber nur ausnahmsweise. Wenn, wie gewöhnlich, die Luft im Zimmer wärmer ist, als aussen, so füllt sich bei geöffnetem Fenster das Zimmer bis einschliesslich der Höhe des offenen Fensters mit frischer Luft, im obersten Theile des Zimmers bleibt aber eine nicht unbedeutende Schicht der verdorbenen Luft vermöge ihres grösseren Wärmegehalts, geringeren specifischen Gewichts von der äusseren Luft abgeschlossen, und diese verdorbene Luft mischt sich bei der Erwärmung der eingelassenen reinen Luft mit dieser. Ist die innere Luft dagegen kälter als die äussere, so bleibt die ganze kalte Luftmasse unterhalb des geöffneten Fensters im Raume und vermischt sich später allmählich mit der eingelassenen reinen Luft, sobald diese selbst an den kalten Wänden des Raumes abgekühlt wird.

Durch die im Zimmer geheizten Oefen (die man in einigen Gegenden Windöfen nennt) wird der Luftandrang durch die Thüren und Fenster sehr beschleunigt; allein auch hier wird nur eine geringe Luftverbesserung erzielt. Die eindringende kältere Luft fliesst sogleich an den Boden und an diesem fort nach dem Feuerraume. Von der verdorbenen Luft gelangt hiebei nur eine sehr geringe Menge zum Feuer; zudem wird der sogenannte Luftzug durch Thüren und Fenster, ferner die beständige Abkühlung des Fussbodens und die kalte Luftschicht selbst, welche beständig über den Boden hinfliesst, bei Windöfen unangenehm empfunden.

Dieses Alles gilt in viel höherem Grade von der primitiven Kaminheizung, deren ventilirende Wirkung oft gerühmt worden ist.

§. 117.

Allgemeine Bemerkungen über Ventilationsanlagen.

Die ohne besondere Ventilationsanlagen vor sich gehende Luftverbesserung, die sogenannte natürliche Ventilation, genügt in den wenigsten Fällen. Die Nothwendigkeit, in einen Raum auf besonderen Wegen eine bestimmte Menge reiner Luft einzuführen und schlechte Luft aus demselben abzuleiten, hat auf die Erfindung von Vorrichtungen geführt, welche im Allgemeinen als Ventilatoren, Saug- oder Druck-Ventilatoren, bekannt geworden sind, obwohl nicht alle einen solchen Namen

verdienen. Es sind zum Theil sehr einfache Apparate, zum Theil complicirte Maschinen, welche durch Dampf- oder Gasmotoren, auch durch Wasserkraft, durch die Schwerkraft, auch durch animalische Kräfte in Bewegung gesetzt werden.

Eine ausgebreitete Anwendung haben solche Maschinen noch nicht gefunden; die Anlagekosten sind meist nicht gering genug, auch der Betrieb ist gewöhnlich mit Kosten verknüpft; die Apparate erfordern eine beständige oder periodische Bedienung und Aufsicht, und wenn auch nur täglich ein geringes Quantum Wasser auf gewisse Höhe zu bringen, oder von Zeit zu Zeit ein Gewicht emporzuheben ist; endlich werden in der Regel an diesen Apparaten alsbald Reparaturen nothwendig, was unangenehme Störungen verursacht.

Aus den genannten Gründen und weil man fast unter allen Umständen die Lufterneuerung in der That einfacher, billiger und bequemer beschaffen kann, sollen im Nachfolgenden vorerst und vorwiegend nicht solche Maschinen oder sogenannte mechanische Ventilatoren zur Betrachtung gelangen, sondern einfachere Ventilationsanlagen, bei welchen der Effect durch Ungleichheit der Temperatur in dem zu ventilirenden Raume und im Freien, sowie durch die Benutzung der Luftströmungen in der Atmosphäre bewirkt wird.

Immerhin sollen dann auch die Ventilations-Maschinen, da sie unter gewissen Umständen von Nutzen, sogar unentbehrlich sein können, in genügender Weise besprochen werden.

Alle Einrichtungen übrigens, welche Ventilation erzielen, wirken in Folge einer Störung des Gleichgewichts zwischen den zu wechselnden Luftmassen. Mit Zugrundelegung der oben behandelten aërostatischen, beziehungsweise hydrostatischen Gesetze für alle principiell verschiedenen Verhältnisse möglichst einfache Ventilationsanlagen systematisch geordnet mitzutheilen, das ist es, was ich für hauptsächlich nothwendig halte.

Um in irgend einem auf gewöhnliche Art abgeschlossenen Raume einen ergiebigen Luftwechsel zu erreichen, werden an bestimmten Stellen des Raumes Oeffnungen oder Röhren anzubringen sein, durch welche die Luft des Raumes mit der äusseren Luft in Verbindung steht. Die Oeffnungen sind unter Umständen mit Drahtgittern, Haartüchern, Siebeplatten, Gaze- oder Watte-Filtern u. dgl. zu versehen, um Staub und Ungeziefer abzuhalten; die Oeffnung oder Röhre an jener Stelle ist alsdann nicht nur so viel zu erweitern, dass die Summe der kleinen Oeffnungen eben so gross ist, als der durch Rechnung zu bestimmende Querschnitt der Oeffnung oder Ventilationsröhre,

sondern es ist noch ein den Umständen angemessener Zuschlag zu geben wegen der vielfachen Contraction und Reibung in den engen Luftwegen und der sonstigen Verluste an lebendiger Kraft.

Ferner sind an den Ventilationsöffnungen Schieber, Klappen, drehbare durchbrochene Scheiben u. dgl. anzubringen, damit man die Ventilation nach Belieben reguliren, unter Umständen auch, wie z. B. bei starkem Winde, nebeliger Luft den Zufluss der äusseren Luft auf diesem Wege gänzlich verhindern kann.

Die Verminderung des Luftzuflusses steht auf diese Art in unserem Belieben, die Vermehrung desselben hat, wenn die Anlage einmal gefertigt ist, bestimmte Grenzen. Aus diesem Grunde wird man bei der Berechnung der Grösse der Ventilationsöffnungen und der Weite der Röhren, überhaupt bei der Anfertigung des speciellen Ventilationsplanes, immer einen der ungünstigsten Fälle vor Augen haben müssen: die Anwesenheit der muthmasslich grössten Anzahl von Personen, vollständige, zuweilen verschwenderische Beleuchtung, geringe Temperaturdifferenzen, ruhige Atmosphäre, so dass man auch im ungünstigsten Falle noch im Stande ist, mittels des Apparates eine hinreichende Luftmenge umzutauschen.

Dabei ist aber nicht zu vergessen, dass eine weit über das nothwendige Mass hinausgehende Ventilation aus früher erwähnten Gründen unpraktisch ist.

Wie die Querschnitte mit Rücksicht auf die Widerstände ziemlich genau berechnet werden können, ist oben auseinandergesetzt. Oft ist man aber in der Lage, schnell eine approximative Berechnung zu machen, bevor die Einzelheiten der Anlage festgestellt sind. In solchen Fällen kann man in folgender Weise verfahren:

Hat man unter Annahme geringer Temperaturdifferenzen und einer der Anlage entsprechenden Druckhöhe die theoretische Geschwindigkeit der Luftbewegung nach oben angegebenen Regeln berechnet, wobei man sich auch der sogleich folgenden Näherungsformeln bedienen kann, so nimmt man bei ziemlich langen Luftleitungen von dieser Geschwindigkeit nur die Hälfte als wirkliche Geschwindigkeit an, wodurch die Widerstände der Bewegung hinreichend berücksichtigt sind. Bei der Anlage ohne lange Röhren, wenn nämlich die Luft des Raumes unmittelbar durch Oeffnungen oder auch durch nur kurze Röhren mit der freien Atmosphäre in Verbindung steht, wo also hauptsächlich nur die Contraction der Luft an den Oeffnungen zu berücksichtigen wäre und eine Verminderung dieser durch geeignete Formen vorausgesetzt werden kann, darf man statt der Hälfte der theoretischen Geschwindigkeit $^3/_4$

derselben annehmen. Ist auf diese Weise die wirkliche Geschwindigkeit für die Secunde annähernd berechnet, so dividirt man das Volumen der in der Secunde nöthigen Luft durch die berechnete Geschwindigkeit und man erhält ebenso annähernd die Querschnitte der Ventilationsöffnungen.

Die Oeffnung, durch welche die kältere Luft fliesst, dürfte bei gleichem Ueberdruck etwas kleiner sein, als jene, durch welche die wärmere Luft fliesst (§. 70). Der Unterschied der Querschnitte ist aber für die gewöhnlichen Temperaturdifferenzen so gering, dass derselbe in der Ausführung nicht zu beachten ist. Zudem kann, wenn nur die Oeffnung für die warme Luft nach Erforderniss berechnet ist, selbst bei grossen Temperaturdifferenzen die gleiche Grösse der beiden Mündungen, und sogar eine Vergrösserung der Mündung für den Durchflusss der kalten Luft nicht von nachtheiligem Einflusse auf den Effect der Anlage sein, wesshalb diese beiden Oeffnungen gleich gross angenommen werden mögen, und zwar so gross, wie jene für die wärmere Luft sein muss. Dieses ist aber nur zulässig, wenn der Ueberdruck an beiden Oeffnungen als gleich gross angenommen werden kann. In vielen Fällen ist, wie sich weiterhin zeigen wird, der Ueberdruck an den beiden Oeffnungen sehr verschieden; dann muss jede Oeffnung für sich berechnet werden.

Was die Berechnung der Geschwindigkeit der Luftbewegung betrifft, so sieht man aus der Vergleichung der früher entwickelten allgemeinen Formeln, dass die Geschwindigkeiten für geringe Temperaturdifferenzen, mag nun die kältere Luft in wärmere fliessen, oder die wärmere in kältere Luft, nahezu gleich sind (§. 69).

Aus diesem Grunde kann man in den gewöhnlichen Fällen für die Näherungsrechnung eine und dieselbe Formel zu Grunde legen. Es soll im Folgenden die Formel für den Ausfluss der wärmeren Luft in kältere angenommen werden, welche, wenn man mit C die theoretische Geschwindigkeit der Luftbewegung in einer Secunde, mit H die Druckhöhe, mit T die Temperatur der wärmeren Luft, mit t die Temperatur der kälteren (beide Temperaturen nach der Centesimalskala) bezeichnet, die folgende ist:

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}} \text{ Meter in der Secunde.}$$

Für die Temperaturdifferenz 1° C., und zwar für $T = 20^0$ und $t = 19^0$ wird die theoretische Geschwindigkeit:

$$C = \sqrt{\frac{19{,}62\,.\,H\,.\,1}{273 + 19}} = 0{,}259\,\sqrt{H}$$

oder unbedeutend grösser als

$$C = \frac{1}{4} \sqrt{H}$$

und folglich annähernd die wirkliche Geschwindigkeit c für 1° Temperaturdifferenz:

bei langen Kanälen

$$c = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4} \sqrt{H} = \frac{1}{8} \sqrt{H}$$

bei sehr kurzen Kanälen

$$c = \frac{3}{4} \cdot \frac{1}{4} \sqrt{H} = \frac{3}{16} \sqrt{H}$$

oder auch unter sehr günstigen Umständen

$$c = \frac{1}{5} \sqrt{H} = 0{,}2 \sqrt{H}$$

Statt der Coëfficienten $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{5}$ mag man nach entsprechender Ueberlegung die Zwischenwerthe $\frac{1}{7}$ und $\frac{1}{6}$ anwenden.

Da die so gefundenen Geschwindigkeiten für 1° Temperaturdifferenz gelten, so ist für die in Betracht zu ziehenden Temperaturdifferenzen, die man bei der Näherungsrechnung in runden Zahlen zu 4°, 9°, 16°, 25° u. s. w. wird voraussetzen dürfen, nur zu beachten, dass die Geschwindigkeit im Verhältniss der Quadratwurzel der Temperaturdifferenz wächst, dass man also die obigen für 1° Temperaturdifferenz geltenden Werthe für die Geschwindigkeit c mit 2, 3, 4, 5 u. s. w. zu multipliciren hat, wenn den Benützungsverhältnissen entsprechend die Temperaturdifferenz ungefähr zu 4°, 9°, 16°, 25° u. s. w. angenommen werden kann.

Ist so die zu erwartende Geschwindigkeit gefunden, so ergiebt sich die in einer Secunde durch die betreffende Oeffnung oder Röhre fliessende Luftmenge durch Multiplication der Geschwindigkeit mit dem Querschnitt der Oeffnung oder Röhre. Es gilt hiebei immer der engste Querschnitt, nicht etwa der zum Zweck der Contractionsbeseitigung erweiterte einer Mündung.

Bezeichnet man mit x den zu suchenden engsten Querschnitt in Quadratmetern, so ist allgemein bei c Meter Geschwindigkeit die in der Secunde hindurchfliessende Luftmenge.

$$M = c \cdot x \text{ Cubikmeter}$$

und folglich der gesuchte Querschnitt

$$x = \frac{M}{c} \text{ Quadratmeter,}$$

wobei für M die nach der Benützungsweise des Raumes und der Anzahl der Personen mit Rücksicht auf etwaige Beleuchtung nothwendige Luftmenge (nach §. 109, 110, 111) einzusetzen ist.

Da ähnliche Angaben meiner älteren Publicationen mehrfach unrichtig in anderen Schriften wiedergegeben worden sind, so sehe ich

mich veranlasst, hier noch einmal ausdrücklich zu bemerken, dass die angegebenen Werthe

$$c = \frac{1}{8}\sqrt{H} \text{ bis } \frac{1}{5}\sqrt{H}$$

nur für ungefähre Ueberschlagung dienen sollen und bei jedem Ventilationsentwurfe die wirklichen Geschwindigkeiten nach den oben (§ 82, 83, 84) gegebenen Anleitungen zu berechnen sind, sobald es sich darum handelt, die Einzelheiten für die Ausführung festzustellen. Der Aufwand an Zeit und Mühe für die Durchführung einer genauen Berechnung ist im Vergleich zu den übrigen Arbeiten bei der Anfertigung eines Bauentwurfs doch nur sehr gering.

Als die in die Formeln einzuführende Höhe H darf man bei annähernden Vorberechnungen die ganze verticale Höhe der warmen, beziehungsweise kalten Luftsäule annehmen. Dieses ist jedoch nur genau richtig, wenn die Mündungen horizontale Ebenen bilden.

Will man bei Oeffnungen in verticalen Wänden genau rechnen, so könnte es fraglich scheinen, ob man als Höhe H die einfache Druckhöhe (§. 13) zu setzen, oder die Tiefe des mittleren Drucks oder des Druckmittelpunkts (§. 15) dafür zu berücksichtigen, oder die Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit (§. 31) aufzusuchen habe.

Die Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit ist unter allen Umständen die richtige Höhe H; doch ist leicht einzusehen, dass bei der verhältnissmässigen Kleinheit der Oeffnungen im Vergleich zu der Höhe der Luftsäule und wegen der nur nach der Quadratwurzel der Höhe stattfindenden Abhängigkeit der Geschwindigkeit von der Höhe es sehr wohl zulässig ist, die statische Druckhöhe anstatt der Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit zu setzen, also die Höhe H von den Mittelpunkten der Oeffnungen aus zu rechnen.

Wie durch Temperaturdifferenzen, so kann man auch durch Benützung des Windes Ventilation erzielen. Man hat zuweilen Windflügel angewandt, welche mit Saug- und Druckpumpen in Verbindung gesetzt wurden, um entweder die verdorbene Luft auszusaugen oder frische Luft einzupressen. Die Wirkung des Windes lässt sich, wenn nur von der jeweiligen, pressenden oder saugenden Wirkung des Windes Gebrauch gemacht werden soll, zu beiden Zwecken durch einfachere Apparate benützen, deren Prinzipien weiter unten mitgetheilt werden.

Leider ist der Wind ein so wenig constanter Motor, dass man nur in vereinzelt vorkommenden Fällen die Ventilation ausschliesslich oder vorzugsweise von seiner Wirkung abhängig machen darf.

Construirt man aber Vorrichtungen, durch welche die veränderliche

Pressung des Windes als motorische Kraft angesammelt und dann auf längere Zeit gleichmässig ausgenützt wird, so ist der Wind ohne Zweifel ein vorzüglicher Motor für Ventilatoren. Dieses mag hier nur angedeutet sein. Bis jetzt hat man solche Vorrichtungen nicht, allein sie sind ausführbar und vermuthlich wird die nächste Zukunft solche zu Tage bringen.

Die Erzielung oder Verstärkung der Ventilation nach dem Prinzipe des Aussaugens hat häufig die Besorgniss erregt, es werde auf diese Weise die Luft zu sehr verdünnt. Dass eine bedeutende absolute Luftverdünnung — eine solche wäre es hiebei — auf den menschlichen Organismus schädlich wirken muss, das ist aus früheren Untersuchungen hinlänglich klar; ebenso aber auch, dass die absolute Luftverdünnung in unseren Räumen niemals einen solchen Grad erreichen kann, um nachtheilige Einflüsse auszuüben.

Wie man sich erinnern wird, hat eine Berechnung gezeigt, dass die äussere Luft mit einer Geschwindigkeit von fast 4 Meter in der Secunde in einen Raum fliessen muss, wenn aus demselben $^1/_{10\,000}$ von dem Luftvolumen hinweggenommen, die Luft also nur höchst wenig absolut verdünnt ist. In der That haben auch Untersuchungen bewiesen, dass bei solchen Anlagen selbst mit den empfindlichsten Instrumenten nur sehr schwer ein Unterschied der Dichte der Luft wahrzunehmen ist.

Eine weitere Besorgniss ist die, dass durch Anlage solcher Saugöffnungen im Raume ein schädlicher oder doch unangenehmer Luftzug entstehe. Dagegen spricht sowohl die Erfahrung als auch schon die theoretische Anschauung; von allen Seiten müssen sich die Lufttheilchen radial nach der Oeffnung hinbewegen, so dass sich der Luftstrom in verschiedenen Entfernungen nach sphärischen Luftschichten betrachten lässt, deren Grössen zu dem zugehörigen Halbmesser im quadratischen Verhältnisse stehen. In demselben Verhältnisse muss aber die Heftigkeit der Luftbewegung abnehmen; die Intensität des sogenannten Zuges nimmt ab mit dem Quadrate der Entfernung von der Oeffnung. Wenn z. B. die Luftbewegung in der Entfernung 1 Decimeter von der Oeffnung die bedeutende Geschwindigkeit 5 Meter in der Secunde hat, und unbestimmt mit x die Geschwindigkeit in der Entfernung 1 Meter bezeichnet wird, so hat man die Proportion:

$$x : 5 = 1 : 100$$

Daraus

$$x = 0{,}05 \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Eine Geschwindigkeit der Luftbewegung von 5 Centimeter in der Secunde empfinden unsere Nerven nicht im geringsten.

Anders ist es in Betreff derjenigen Oeffnungen, durch welche die reine Luft eingepresst wird, indem dieser Strom der Inertie zufölge sich noch durch einen grossen Theil des Raumes in bestimmter Richtung fortbewegt, sich um so weniger auf diesem Wege vertheilt, je grösser seine Geschwindigkeit ist. Doch auch dieser Umstand kann leicht Abhülfe finden, wie an einzelnen Fällen weiter unten gezeigt werden soll.

Bei welcher Geschwindigkeit eine Luftbewegung lästig ist oder überhaupt nur empfunden wird, lässt sich nicht allgemein angeben; es ist nach der Beschaffenheit der Luft und der Körpertheile und auch unter gleichen Umständen in weiten Grenzen individuell verschieden. Ich selbst befinde mich gern in merklich bewegter Luft, während meiner Frau Luftbewegungen lästig werden, die ich nicht im mindesten empfinde.

Die gewöhnliche Wahrnehmung schwacher Luftbewegungen besteht nur in dem Gefühl der Temperaturverschiedenheit und zwar, weil die Luft unserer Umgebung nicht heiss ist, und durch die bewegte Luft die Verdunstung beschleunigt wird, in dem Gefühl von Kühlung. Bei stärkerer Luftbewegung steigert sich dieses und es kommt ein kribbelndes Gefühl, das eigentliche Gefühl der Bewegung hinzu, und erst bei grosser Geschwindigkeit fühlt man den einseitigen Druck der bewegten Luft.

Aus der Kälte-Wahrnehmung folgt, dass eine Luftbewegung um so mehr bemerkbar und eventuell lästig sein wird, je kälter und relativ trockener die Luft ist, und dass auch die verschiedenen Körpertheile in ungleichem Grade für die Luftbewegungen empfindlich sind und wieder mehr in feuchtem als in trockenem Zustande.

Von meinen eigenen Beobachtungen hierüber will ich hier einige mittheilen. Am Gesichte fühle ich Luftbewegungen in jeder Weise mehr als an den Händen, und an der äusseren Handfläche mehr als an der inneren.

Die in der Tabelle zusammengestellten Beobachtungsresultate beziehen sich auf breite Luftströme an Luftheizungsöffnungen und anderen ziemlich weiten Röhren.

Luft-Geschwindigkeit.	Temperatur.	Relative Feuchtigkeit.		Körpertheil.	Wahrnehmung.
1,30 m	50° C.	6%	Trocken	Innere Handfläche	Wärme, keine Bewegung.
				Aeussere Handfläche	Mehr Wärme und schwache Bewegung.
				Gesicht	Noch mehr Wärme und stärkere Bewegung.
			Feucht	Innere Handfläche	Nur Kühlung ohne Bewegung.
				Aeussere Handfläche	Mehr Kühlung und etwas Bewegung.
				Gesicht	Noch mehr Kühlung und Bewegung.
0,85 m	37° C.	25%	Trocken	Innere Handfläche	Geringe Erwärmung.
				Aeussere Handfläche	Etwas mehr Erwärmung.
				Gesicht	Noch mehr Erwärmung.
			Feucht	Innere Handfläche	Etwas Kühlung.
				Aeussere Handfläche	Mehr Kühlung.
				Gesicht	Noch mehr Kühlung und schwache Bewegung.
0,80 m	18° C.	60%	Trocken	Innere Handfläche	Leichte Bewegung mit Kühlung.
				Aeussere Handfläche	dsgl. mehr.
				Gesicht	dsgl. am meisten.
			Feucht	Innere Handfläche	Bewegung und Kühlung etwas stärker.
				Aeussere Handfläche	dsgl. mehr.
				Gesicht	dsgl. am meisten.
0,50 m	18° C.	60%	Trocken	Innere Handfläche	Keine Wahrnehmung.
				Aeussere Handfläche	dsgl.
				Gesicht	Kaum bemerkliche Kühlung.
			Feucht	Innere Handfläche	Sehr schwache Kühlung.
				Aeussere Handfläche	Mehr Kühlung.
				Gesicht	Noch etwas mehr Kühlung, aber keine weitere Empfindung der Luftbewegung.

Es kann auffallend erscheinen, dass der Luftstrom von der Blutwärme, nämlich von 37° C. an den trockenen Körpertheilen das Gefühl der Erwärmung erzeugte. Dieses mag daraus zu erklären sein, dass in dieser warmen Luft zwar nicht eine eigentliche Erwärmung stattfand, aber auch nicht die gewöhnte Wärmeabgabe, so dass sich ein Gefühl von Wärme kundgeben konnte.

Dass an den befeuchteten Körpertheilen derselbe Luftstrom, und sogar jener von 50° C. kühlend wirkte, erklärt sich aus der beschleunigten Verdunstung.

Die Luftgeschwindigkeit, bei welcher man unter gewöhnlichen Umständen, nämlich bei trockener Haut und mittlerer Temperatur, eine Empfindung der Luftbewegung durch Kühlung wahrnimmt, wird ungefähr bei $^1/_2$ Meter in der Secunde anzunehmen sein, bei

manchen Personen etwas höher, bei anderen etwas tiefer, bei sehr zarten Personen wohl auch bedeutend tiefer. Wenn man gemüthlichen Schrittes im Zimmer hin und her geht, ist die relative Geschwindigkeit ungefähr $^1/_2$ Meter; die meisten Personen werden dabei, wenn sie darauf nicht besonders achten, eine Empfindung der relativen Luftbewegung nicht haben.

Mit der Frage, bei welcher Geschwindigkeit eine Luftbewegung unangenehm sein oder überhaupt empfunden werden kann, hängt auch die zusammen, wie oft die Luft in einem geschlossenen bewohnten Raume in gewisser Zeit umgewechselt werden darf.

Man findet in einigen Schriften die Behauptung, ein mehr als dreimaliger Luftwechsel in der Stunde sei unerträglich und desshalb unzulässig.

Nach meiner Erfahrung ist bei guter Gesammteinrichtung ein zehnmaliger Luftwechsel in der Stunde nicht lästig, nicht durch das Gefühl wahrnehmbar. Man wird einen solchen aus oben (§. 111) angegebenen Gründen nicht unnöthiger Weise herbeiführen, allein er kann bei kleinem Luftkubus nothwendig werden und dann braucht man denselben nicht zu fürchten.

Dieses ist insofern wichtig, als man zuweilen an Kosten für Bauplatz und Bau grosse Summen sparen kann, ohne dabei auf einen hygienischen Vortheil verzichten zu müssen.

Wird in einen Raum von 3 Meter Höhe warme Luft oben eingeführt, die kältere Luft unten abgeführt, oder geschieht mit Zuführung kalter Luft der Luftwechsel in entgegengesetzter Richtung, besteht dabei der Luftwechsel in einem regelmässigen Verdrängtwerden der vorhandenen Luftschichten durch die neu hinzukommenden von oben nach unten oder von unten nach oben, so ist die secundliche Geschwindigkeit solcher Luftbewegung im Raume bei stündlich zwölfmaligem Luftwechsel

$$\frac{36}{3600} = \frac{1}{100} \text{ Meter} = 1 \text{ Centimeter}.$$

Zwar findet ein so regelmässig absteigender oder aufsteigender Luftwechsel in der Wirklichkeit nicht statt, sondern es entstehen durch die Bewegungen der Personen und durch verschiedenseitige Abkühlung oder Erwärmung der Luft im Raume selbst Nebenströmungen, die jedoch in gleicher Weise auch bei geringerem Luftwechsel vorhanden sind.

Hiernach und nach meinen directen Beobachtungen — die ich, für Luftbewegungen persönlich etwas unempfindlich, nicht für massgebend halten dürfte, wäre nicht das Urtheil anderer Personen übereinstimmend

gewesen — glaube ich behaupten zu dürfen, dass überall, wo man einen mehr als dreimaligen Luftwechsel in der Stunde lästig gefunden hat, die Einrichtungen für Zuführung und Abführung der Luft mangelhaft waren, oder die relative Feuchtigkeit der Ventilationsluft zu gering war. Jede dieser Ursachen der Unbehaglichkeit lässt sich aber ohne Verminderung des Luftwechsels beseitigen.

In Bezug auf den Ort, an welchem man die einem Raume zuzuführende Ventilationsluft aus der Atmosphäre wegholt, dürfte auf einige allgemein zu beachtende Punkte aufmerksam gemacht werden. Die Mündung eines Kanals, welcher einem Raume reine Luft zuführen soll, bringe man nicht in der Nähe von Cloaken, Ausgüssen, Unrathhaufen u. dgl. an, nicht in engen Strassen und dumpfen Höfen oder sonst grösstentheils eng umschlossenen, der Sonne wenig zugänglichen Orten, sondern an einem möglichst freien trocknen Platze.

Die Ventilationsluft über dem Dache aufzufangen ist jedenfalls häufig am zweckmässigsten, weil die Ursachen der Luftverschlechterung zum grössten Theile in der Nähe des Erdbodens vorhanden sind, in einiger Höhe dagegen die schädlichen Beimengungen der Luft durch die weniger gehinderten Luftströmungen mehr vertheilt und weggeführt werden. Bringt man aber die Mündungen für den Zufluss der äusseren Luft über dem Dache an, so ist doch auch hier wieder besondere Vorsicht nothwendig; man hat die Situation der Umgebung, die Höhen und Formen der nächsten Gebäude sorgfältig zu berücksichtigen, um den Apparat nicht unzweckmässigen Winden auszusetzen, oder mit der reinen Luft nicht auch den Rauch der nächsten Schornsteine dem zu ventilirenden Raume zuzuführen.

Unter Umständen wird es gerathen erscheinen, in einiger Entfernung vom Gebäude an einer freien Stelle einen Luftschacht auszuführen und diesen durch einen unter der Erde liegenden Kanal mit dem zu ventilirenden Raume zu verbinden.

Bei einiger Länge und einigermassen tiefer Lage dieses Kanals erreicht man den Vortheil, dass man wegen der ziemlich gleichmässigen Temperatur des Bodens im Sommer eine verhältnissmässig kühle, im Winter eine verhältnissmässig warme Ventilationsluft erhält. Um im Sommer diesen Umstand noch besser zu benützen, kann es dienlich sein, die Luft, vielleicht auf einem Umwege, durch einen Bach, besonders wenn derselbe sehr kaltes Wasser führt, oder durch den Abflusskanal eines beständig fliessenden Brunnens u. dgl. zu leiten. Doch ist alsdann nicht zu übersehen, dass die Kanäle sehr

dicht sein müssen (etwa Röhren aus Gusseisen, Cement, Steingut oder glasirte Thonröhren), dass sie ferner auch nicht in allzulangen Leitungen angeordnet werden dürfen, weil durch die Widerstände der Bewegung die Geschwindigkeit der Luftbewegung, somit die zugeführte Luftmenge zu bedeutend vermindert werden könnte.

In den folgenden Paragraphen sollen nun einfache Einrichtungen für den Luftwechsel in verschiedenen Räumen angegeben werden, in welchen die Luft entweder kälter oder wärmer ist, als die Luft der äusseren Atmosphäre. Die Thüren und Fenster werden hiebei als einfach geschlossen betrachtet; einen luftdichten Schluss vorauszusetzen ist nicht nothwendig; es wäre dieses auch eine unrichtige Voraussetzung, auf welcher eine Ventilationseinrichtung nicht beruhen darf. Die Bewegungsvorgänge in den zum Austausch der Luftmassen dienenden Kanälen und Röhren müssen sogar bei offenen Thüren und Fenstern im Wesentlichen ungeändert bleiben; sie dürfen unter solchen Umständen eine Aenderung der Geschwindigkeit, aber keine Aenderung der Stromrichtung erleiden.

Es wird häufig geradezu von kalter und warmer Luft, von kalten und warmen Räumen die Rede sein; ich bemerke jedoch, dass diese Ausdrücke nur der Kürze wegen beibehalten werden, wo man aus dem Zusammenhange leicht erkennt, dass dieses in Bezug auf eine andere Temperatur Geltung hat.

Kalt und warm sind immer nur relative Begriffe; der Zustand der Kälte ist ein Wärmezustand, wenn auch ein Wärmezustand von geringer Intensität gegenüber gewissen anderen Wärmezuständen. Ueberdies wäre der Massstab unseres Gefühls gar nicht geeignet, den Grad der Intensität jenes Zustandes zu bestimmen, die Grenzen festzustellen, wo das Warmsein aufhören, das Kaltsein beginnen sollte. Zu derselben Zeit in demselben Raume glaubt von drei Anwesenden der Eine, der Raum habe eine sehr behagliche Temperatur; der Andere findet es denn doch ein wenig zu kalt, während der Dritte schon über drückende Wärme zu klagen beginnt. Auf die absoluten Temperaturen kommt es für die Ventilation wenig an, viel jedoch auf die Differenz der Temperaturen der inneren und äusseren Luft. Der Effect ist nahezu derselbe, wenn die Luft in der Atmosphäre die Temperatur 15°, im Zimmer die von 20°, oder auf der einen Seite die Temperatur 0° hat, auf der anderen 5°.

Die Differenz der Temperaturen ist, wie gesagt, von Wichtigkeit, doch nicht in dem Masse wie häufig angenommen wird, indem man durch die Vergrösserung der Temperaturdifferenz um einige

Grade eine bedeutende Vergrösserung der Ventilationswirkung zu erzielen hofft.

Eine Temperaturdifferenz von 4° C. kann bei weiten Kanälen schon einen ausgiebigen Luftwechsel veranlassen; bei 1° Differenz ist die Geschwindigkeit immer noch halb so gross und bei der hundertfachen Differenz nur zehnmal so gross.

Dieses gilt zunächst für die theoretischen Geschwindigkeiten. Die Unterschiede der wirklichen Geschwindigkeiten sind noch geringer, weil die Widerstände mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit wachsen; und wenn man, worauf es eigentlich ankommt, die ausgetauschten Luftmengen vergleicht, so tritt bei den grösseren Temperaturdifferenzen das grössere Volumen der warmen Luft um so ungünstiger auf.

Man könnte in diesen allgemeinen Bemerkungen über Ventilationsanlagen eine Angabe suchen in Betreff der Stelle, wo die schlechtere Luft eines Raumes abgeführt werden soll. Auffallender Weise halten noch heutzutage viele Aerzte und Techniker unter allen Umständen an dieser oder jener bestimmten Regel fest. Einige wollen nur die Abführung an der Decke für rationell halten, Andere nur die Abführung am Fussboden; auch die Ansicht, dass die Höhenlage gleichgültig sei, hat ihre Verfechter.

Was rationell ist, lässt sich in dieser Beziehung eben so wenig allgemein sagen, als man anzugeben vermag, welches Ventilationssystem ein für allemal das rationellste ist.

Die Frage nach der richtigen Abführungsstelle kann nur mit Rücksicht auf den speciellen Fall beantwortet werden und dieses wird im Folgenden geschehen.

§. 118.

Allgemeines über die Ventilation kalter Räume.

Die Fälle, in welchen die Luft eines Raumes kälter ist, als die äussere Luft, und die kältere Luft des Raumes durch wärmere reinere ersetzt werden soll, sind seltener als jene Fälle, bei welchen die verdorbene zu entfernende Luft wärmer ist als die äussere Luft. Bei bewohnten Räumen kommt ersteres meist nur im Frühjahre und besonders in den nach Norden liegenden Räumen eines Hauses vor; ausserdem aber in Vorrathsräumen, Kellern, Schiffsräumen, in Berg- und Brunnenschachten u. s. w.

In Betreff der Wahl der Lüftungseinrichtung ist es von Wichtigkeit zu wissen, ob es möglich ist, den tiefsten Theil des Raumes durch einen horizontalen oder fallenden Kanal mit der Atmosphäre in Verbindung zu setzen, oder ob diese Communication nur in einem höheren Horizont bewerkstelligt werden kann, ob also der mit kalter Luft gefüllte Raum über oder unter dem Erdboden liegt, und bei Räumen unter der Erde, ob das Terrain nur ein schachtfähiges oder auch ein stollenfähiges ist. Ein Raum unter der Erde in der Nähe eines Abhanges kann zuweilen so durch einen Stollen mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt werden, dass er in Bezug auf die Ventilationseinrichtung ebenso zu behandeln ist wie ein Raum über der Erde. Ein Unterschied liegt zwar darin, dass in Räumen über der Erde gewöhnlich bedeutender Luftwechsel durch die zufälligen Oeffnungen stattfinden kann; doch ist es zweckmässig, hievon bei den folgenden Einrichtungen gänzlich abzusehen.

Die Art und Weise des zu ermöglichenden Ausflusses der kalten Luft in wärmere kann man sich leicht dadurch veranschaulichen, dass man annimmt, der Raum sei mit Wasser anstatt mit kalter Luft gefüllt, und das Wasser soll zum Ausfliessen gebracht werden, und zwar indem der betrachtete Raum von Luft umgeben ist.

Wie das Wasser aus einem Gefässe nur von dessen Boden ab vollständig abgeleitet werden kann, so muss auch die Abflussöffnung der kalten Luft sich am Boden des Raumes befinden.

Wie aber das Wasser durch den Hahn eines Fasses nur dann gleichmässig und schnell ausfliesst, wenn das Spundloch geöffnet ist, also die Luft von oben eindringen kann, so muss auch, während die kalte Luft unten ausfliesst, die wärmere Luft oben nachfliessen können, wenn ein rascher und regelmässiger Luftwechsel stattfinden soll.

Ist es nicht möglich, das Wasser aus einem Gefässe unmittelbar durch eine Oeffnung am Boden abzulassen, und soll dasselbe doch vollständig ausfliessen, so kann man diesen Zweck durch Hebervorrichtungen, durch Saug- und Druckwerke erreichen. Dieselben Mittel stehen uns auch für die Ableitung der kalten Luft aus einem Raume zu Gebote.

§. 119.

Ventilation eines kalten Raumes über der Erde vermöge der natürlichen Temperaturdifferenz.

Bringt man am Boden eines Raumes, welcher mit kalter Luft gefüllt ist, eine Oeffnung von einiger Grösse an, so wird die kalte Luft ausfliessen und zugleich auf demselben Wege die wärmere Luft eindringen, und zwar ruhiger und regelmässiger, als bei der Begegnung von Wasser und Luft, wenn man sich nämlich den Raum mit Wasser gefüllt denkt, weil bei den Luftmassen die Differenz der specifischen Gewichte viel geringer, die Verschieblichkeit der Lufttheilchen aber viel bedeutender ist, als die der Wassertheilchen. Die Bewegung beider sich umwechselnden Luftmengen geht in diesem Falle mit geringer Geschwindigkeit vor sich, weil sich dieselben gegenseitig durch Reibung bei der Begegnung in und in der Nähe der Oeffnung an ihrer Bewegung hindern.

Man bringe desshalb nicht nur am Boden des zu ventilirenden Raumes eine Oeffnung von berechneter Grösse nach aussen an, sondern auch eine solche an der Decke (Fig. 112). Dann muss sehr regelmässig die kalte Luft durch die untere Oeffnung ausfliessen, während oben die warme Luft eindringt. Die Relation zwischen der in einer gewissen Zeit gewechselten Luftmenge, der Geschwindigkeit der Luftströmung und der Grösse der Oeffnung sind unter Annahme bestimmter Umstände leicht festzustellen, wenn man die früher gemachten Angaben benützt. Wenn die Temperaturdifferenz 1° C. beträgt, die Druckhöhe $H = 4$ Meter ist, die Grösse des Raumes, also auch das Luftvolumen, welches derselbe fasst, $V = 100$ Cubikmeter, die Grösse a jeder der beiden Oeffnungen 0,1 Quadratmeter, wenn man ferner annimmt, dass die oben einfliessende wärmere Luft sich im Anfange an den kalten Wänden schnell auf die niedere Temperatur abkühlt, so dass man für einige Zeit die Temperaturdifferenz und die Druckhöhe als constant ansehen darf, und man fragt nach der Zeit z, welche nothwendig ist, um die Luft des Raumes vollständig gegen äussere Luft umzuwechseln, so muss die Gleichung bestehen

Fig. 112.

$$a \cdot c \cdot z = V \text{ Cubikmeter,}$$

also wird

$$z = \frac{V}{a \cdot c} = \frac{100}{0{,}1 \cdot c} = \frac{1000}{c} \text{ Secunden.}$$

Die Geschwindigkeit c ergiebt sich für die in Fig. 112 dargestellten günstigen Umstände, nämlich unter der Annahme sehr kurzer Kanäle, deren Mündungen überdies nach dem contrahirten Strahl geformt sein sollen (§. 82), bei Anwendung der Näherungsrechnung (§. 117) als

$$c = 0{,}2 \sqrt{4} = 0{,}4 \text{ Meter in der Secunde.}$$

Folglich ist die gesuchte Zeit für den einmaligen Luftwechsel

$$z = \frac{1000}{0{,}4} = \frac{10\,000}{4} = 2500 \text{ Secunden}$$

$$z = 41 \text{ Minuten } 40 \text{ Secunden.}$$

Also bei nur 1° Temperaturdifferenz ergiebt sich dieses günstige Resultat.

Bei einer Temperaturdifferenz von 16° wäre die Geschwindigkeit 4mal so gross, folglich die für den Austausch nöthige Zeit ¼ der vorigen, mithin etwas mehr als 10 Minuten, und es könnte die Luft des Raumes von 100 Cubikmeter in einer Stunde fast 6mal umgewechselt werden. Die Oeffnungen, 0,1 Quadratmeter, sind dabei keineswegs extrem gross angenommen.

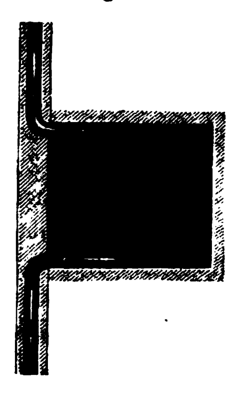
Der Querschnitt der Oeffnung wird in solchen Fällen selten nach der Anzahl der in dem Raume anwesenden Personen zu bestimmen sein, noch weniger mit Rücksicht auf Beleuchtung, weil durch diese Einflüsse die Luft im Raume alsbald wärmer sein wird als aussen. Von der Ventilation in diesem Falle wird aber später gehandelt.

Die Druckhöhe ist hier die verticale Entfernung der Mittelpunkte beider Oeffnungen. Daraus geht hervor, dass man für einen bestimmten Querschnitt die Oeffnungen, wenn solche nicht in der Decke und dem Fussboden selbst, sondern an der Seitenwand angebracht werden, zweckmässig mehr breit als hoch macht; man kann alsdann, um so mehr weil nur die Quadratwurzel der Druckhöhe als Factor der Geschwindigkeit in Rechnung kommt, die Höhe des Raumes selbst als Druckhöhe annehmen.

Sollten Gründe dafür vorhanden sein, die obige Anordnung in der Weise zu modificiren, dass man die reine Luft von grösserer Höhe, vielleicht vom Dache herabführt, und ebenso die Luft des Raumes nicht unmittelbar ins Freie fliessen lässt, sondern sie in einige Tiefe vielleicht bis zum Erdboden hinableitet (Fig. 113), so kann dadurch der Luftwechsel bedeutend beschleunigt werden, weil

durch diese Einrichtung die Druckhöhe eine grössere wird. Doch gilt dieser Vorzug nur so lange, als die Luft in den verticalen Kanälen kälter ist als die Aussenluft; dass die Luft in der ganzen Höhe dieser Kanäle die Temperatur des kalten Raumes habe, darf nur selten vorausgesetzt werden, sie wird in der Regel wärmer sein. Desshalb ist hier die Berechnung wenig zuverlässig. Es kann nach dauernd warmer Witterung sogar vorkommen, dass die Kanalwandungen, namentlich die oberen, ebenso warm und noch wärmer sind als die Aussenluft, wodurch der Luftwechsel bedeutend verzögert würde.

Fig. 113.



Daraus geht hervor, dass die letztere Einrichtung der viel einfacheren in Fig. 112 skizzirten im Allgemeinen nicht vorzuziehen, sondern ihr nachzusetzen ist.

§. 120.

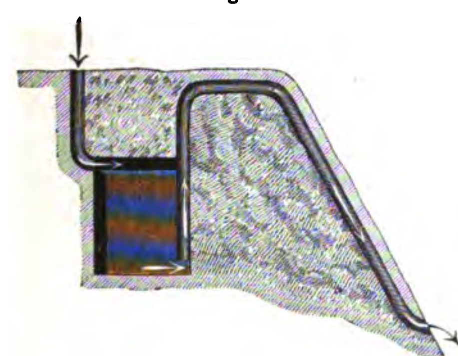
Ventilation eines kalten Raumes unter der Erde durch die natürliche Temperaturdifferenz mit Anwendung des Hebers.

Wie man Wasser hoch über den Rand des Gefässes hinweg fast vollständig ableiten kann, indem man einen mit Wasser gefüllten Heber so in dasselbe bringt, dass dessen einer Schenkel bis nahe an den Boden des Gefässes reicht, während die Mündung des anderen Schenkels aussen ebenso tief oder besser noch tiefer hinabreicht, so kann man auch die kalte Luft aus einem Raume durch eine Hebervorrichtung ableiten, wenn es nicht möglich ist, die Leitung vom Boden des Raumes ab horizontal oder sogleich abwärts zu führen. Es kann dieser Fall bei Kellern und ähnlichen Räumen vorkommen, welche auf Anhöhen, umgeben von felsigen Abhängen liegen, die nicht leicht durchgraben werden können.

Wie ferner den Ausfluss des Wassers durch den Heber der auf den Wasserspiegel wirkende Luftdruck verursacht, so ist auch für das Abfliessen der kalten Luft der Druck der äusseren Luft nothwendig. Es ist jedoch nicht erforderlich, dass der kalte Raum oben vollständig offen sei; eine schräge oder verticale Röhre, durch welche der kalte Raum mit der Atmosphäre noch ein zweites Mal in Communication ge-

setzt ist, genügt dem Zwecke, und diese Röhre darf an irgend einer Stelle des kalten Raumes einmünden, wenn es sich nur darum handelt, eine Luftverbesserung oder Erwärmung durch Vermischung der kalten mit warmer Luft zu veranlassen. Fordert man aber, dass die im Raume vorhandene kalte Luft möglichst schnell und vollständig entfernt werde, so wird man die Zuflussmündung an der Decke anbringen, dabei aber noch andere Rücksichten vor Augen haben müssen (Fig. 114). Wäre nämlich, abweichend von der Figur 114, die Zuflussröhre von einiger Länge, ihre Stellung vertical, ihre Mündung horizontal, und wird an dieser Mündung keine besondere Einrichtung weiter getroffen, so wird die wärmere Luft, sobald einmal die Strömung im Gange ist, mit einiger Heftigkeit durch diese Röhre herabfliessen, vermöge der Inertie noch im Raume die verticale Richtung behalten, nach dem Boden gelangen, sich da ausbreiten und erst dann nach der Decke steigen, sich aber hiebei selbst bedeutend abkühlen und mit der kälteren Luft vermischen, theilweise auch sogleich am Boden in die Abflussröhre gelangen. Desshalb gebe man, wie in Fig. 114, der Zuflussröhre an ihrer Mündung eine horizontale Richtung, so dass die Mündung selbst vertical ist, oder man lasse die verticale Röhre in der horizontalen Decke, mit horizontaler Mündung also, endigen, bringe aber unter dieser Mündung einen horizontalen Schirm (eine Platte, Scheibe) an. Dann muss sich die einfliessende warme Luft zunächst an der Decke ausbreiten, grösstentheils in nahezu horizontalen Schichten immer tiefer herabgelangen und alsbald den ganzen Raum ausfüllen.

Fig. 114.



Ist der Heber einmal mit kalter Luft gefüllt, so wird die Luft aus dem Raume so lange ausfliessen, als die Luft in demselben, oder eigentlich im Heber, kälter ist als die äussere Luft. Aus diesem Grunde wird es zweckmässig sein, den längeren Schenkel so tief als möglich unter den Boden zu legen, oder ihn ziemlich hoch mit einem schlechten Wärmeleiter zu bedecken.

Als Druckhöhe gilt bei dieser Einrichtung, wenn auch die Zuflussröhre mit kalter Luft gefüllt ist, die ganze Höhe des Apparates,

von der obersten Mündung der Zuflussröhre bis zur Ausflussmündung des Hebers; nachdem aber der Raum selbst mit warmer Luft und nur noch der Heber mit kalter angefüllt ist, wird die Druckhöhe die Höhe der oberen Hebermündung über der unteren. Je tiefer man also den längeren Schenkel hinabführen kann, desto besser ist es für die Ventilation.

Es dürfte noch die Frage entstehen: wie füllt man den Heber mit kalter Luft? wie leitet man die Bewegung ein, wenn zufälliger Weise die Luft im Heber nicht kalt genug sein sollte?

Wie man bei Wasser, wenn der Heber mit Luft gefüllt in das zu entleerende Gefäss gebracht wird, durch Hinwegsaugen der Luft, das heisst durch Verminderung des äusseren Druckes in dem äusseren Heberschenkel die Strömung erzielen kann, so kann man auch die Luftströmung, wenn der Heber nicht mit kalter Luft gefüllt sein sollte, dadurch veranlassen, dass man den Druck der Luft auf die Mündung des längeren Schenkels vermindert. Diese Verminderung findet nun statt, wenn man *das äussere Ende des Hebers mit einer anderen Röhre verbindet*, in welcher die Luft durch Erwärmung oder durch Expansion mit Verminderung der Spannkraft, also *relativ oder absolut verdünnt* wird. Auch Vergrösserung des Druckes auf der anderen Seite, *Compression der Luft in der Zuleitungsröhre* kann die Luftbewegung veranlassen, und wenn diese bereits begonnen hat, den Effect vergrössern.

Einfache Vorrichtungen zu den oben genannten Zwecken, Saug- und Druckvorrichtungen, die einmal angebracht keine weitere Aufsicht oder Bedienung erfordern, werden alsbald zur Sprache kommen.

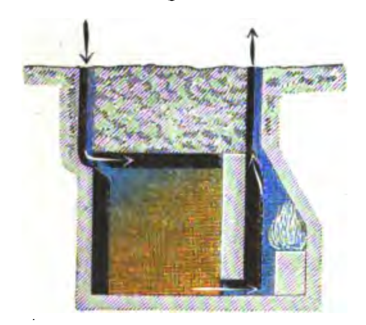
§. 121.

Ventilation eines kalten Raumes unter der Erde durch Wärmeentwickelung in demselben Horizont oder in einem tieferen.

Aus einem unter der Erde liegenden Raume sei die verdorbene Luft zu entfernen. Der Raum hat in Bezug auf das Terrain der Umgebung eine solche Lage, dass es nicht möglich ist, die abfliessende Luft an eine freie Stelle der Atmosphäre zu leiten, welche ebenso tief oder tiefer liegt als jener Raum, so dass also die abzuführende Luft durchaus gehoben werden und in gewisser Höhe über dem zu ventilirenden Raume an die Atmosphäre ausfliessen muss. Dabei sei noch

die Bedingung gestellt, dass die Temperatur des Raumes höchstens die der äusseren Luft werden, dass also desswegen oder auch aus anderen Gründen eine Feuerungsanlage in diesem Raume selbst nicht angebracht werden darf. Dennoch soll die Ventilation mittels einer Feuerung erzielt werden. Man kann nun in demselben Horizont in geeigneter Entfernung von dem zu ventilirenden Raume einen anderen Raum von beliebiger Grösse benützen, in welchem ein Feuer unterhalten werden kann, einen Heizraum also, gewissermassen einen einfachen Ofen (Fig. 115). Die beiden Räume stehen durch Röhren, welche von der Decke eines jeden weggeführt sind, mit der Atmosphäre in Verbindung, unter sich durch einen Kanal, welcher vom Fussboden des einen Raumes nach dem Fussboden des anderen geführt ist.

Fig. 115.



Bei der geringsten Erwärmung des Heizraumes fliesst die Luft aus der Atmosphäre herab in den kalten Raum, die kalte Luft in den erwärmten Raum und die erwärmte Luft aus diesem in die Atmosphäre empor. Ist t die Temperatur im Zuflusskanal und im kalten Raum (unter Umständen die mittlere Temperatur oder richtiger die Mischungstemperatur der zusammengesetzten kalten Drucksäule), T die erhöhte Temperatur, H die Höhe von der Ausflussöffnung der erwärmten Luft bis zum Mittelpunkte der Oeffnung am Boden des erwärmten Raumes, so ist die theoretische Geschwindigkeit der Strömung:

$$c = \sqrt{\frac{2\,g\,H(T - t)}{273 + t}} \text{ Meter in der Secunde.}$$

Als Näherungswerth der wirklichen Geschwindigkeit kann man je nach der Länge und Weite der Kanäle $^1/_2$ bis $^3/_4$ dieser theoretischen Geschwindigkeit annehmen, oder auch, ohne erst diese zu suchen, jenen nach §. 117 berechnen.

Liegt der erwärmte Raum tiefer, so kann man vom Boden des zu ventilirenden Raumes eine ansteigende Röhre nach der Rauchröhre führen oder noch besser nach dem Boden des erwärmten Raumes eine fallende Röhre. Liegt der erwärmte Raum nur wenig höher als der zu ventilirende, so ist die Anordnung eine ähnliche; es genügt bei jeder dieser Einrichtungen eine sehr geringe Erwärmung zur Hervorbringung der beabsichtigten Ventilation. Liegt aber der Heizraum be-

deutend höher, so kann es sich treffen, dass die Ventilation selbst durch starke Heizung nicht erzielt wird. Hiervon im Folgenden.

§. 122.

Ventilation eines kalten Raumes unter der Erde durch Wärmeentwickelung in einem höheren Horizont.

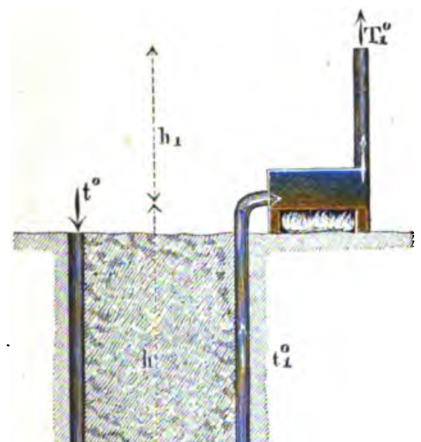
Der zu ventilirende Raum liege unter der Erde und zwar so, dass die abfliessende Luft nicht an eine Stelle geleitet werden kann, welche ebenso hoch oder tiefer liegt wie jener Raum. Auch soll weder in diesem Raume selbst ein Heizapparat angebracht werden, noch sei es gut möglich, einen solchen daneben in der Tiefe anzubringen, so dass also die Luft des zu ventilirenden Raumes als kalte Luft zu bedeutender Höhe gehoben werden muss, ohne dass sich ein Heber anwenden lässt. In diesem Falle führt man zwei schräge oder verticale Röhren nach dem kalten Raume. Die eine Röhre, Zuflussröhre, der warmen Luft, endet mit verticaler Mündung im Raume dicht an der Decke oder am höchsten Punkte der Decke mit horizontaler Mündung über einer darunter aufgehängten horizontalen Platte. Die andere Röhre, Ausflussröhre der kalten Luft, ist vom Boden aus emporgeführt und wird mit einem Apparate in Verbindung gesetzt, in welchem die Luft absolut oder relativ verdünnt wird, wodurch sich also der Luftdruck in der Ausflussröhre einseitig vermindert.

Die relative Luftverdünnung geschieht durch Erwärmung; ist ein warmer Schornstein in der Nähe, so kann man diesen zu dem erwähnten Zwecke benützen, die Ausflussröhre in denselben führen. Ob auf diese Weise der Zweck erreicht wird, hängt jedoch von der äusseren Temperatur, der Temperatur im Raume und im Schornstein ab; ferner von der Tiefe des Raumes unter der Stelle, wo die Röhre in den Schornstein mündet, endlich von der Höhe des Schornsteins. Um in speciellen Fällen des Erfolges gewiss zu sein, müsste man eine Berechnung anstellen ähnlich derjenigen, welche sogleich folgen wird. Ist kein Schornstein, der benützt werden könnte oder der die hinreichende Wirkung hervorbringt, in der Nähe, so kann man, so oft man den kalten Raum mit äusserer Luft füllen will, dieses mit geringem Aufwande an Brennstoff auf folgende Weise erzielen (Fig. 116):

Man bringt dem zu ventilirenden Raume so nahe als möglich einen dicht geschlossenen Kasten an aus Eisenblech oder Mauerwerk, der nur am Boden mit einer Platte aus Gusseisen zu ver-

sehen ist, worunter sich ein Feuerheerd befindet. Um in kurzer Zeit eine möglichst grosse Menge Luft in diesem Heizkasten erwärmen zu können, mache man die vom Feuer bespülte Fläche, den Boden des Kastens ziemlich ausgedehnt; auf die sonstige Form und Höhe des Kastens kommt es wenig an. Die aus der Tiefe kommende Röhre wird unten oder von der Seite in diesen Kasten eingeführt; an der Decke desselben befindet sich eine andere verticale Röhre. Wird nun unter dem Heizkasten gefeuert, so wird die Luft in diesem und sofort auch die Luft in der Röhre darüber wärmer, specifisch leichter; dadurch wird der von oben nach unten wirkende Luftdruck in der Steigröhre der kalten Luft vermindert, der von der anderen Seite her fortgepflanzte vertical aufwärts wirkende Luftdruck wird überwiegend, die äussere Luft wird durch die Zuflussröhre hinabgedrängt, die kalte Luft wird aus dem kalten Raume in den Kasten empor und durch die erwärmte Röhre ins Freie gehoben.

Fig. 116.



Um dieses Resultat aber wirklich zu erreichen, muss man die Luft im Kasten erst auf eine bestimmte Temperatur erhitzt haben, und auch bei dem Maximum der möglichen Erhitzung giebt es ein Minimum für die Höhe der Röhre über dem Kasten; nur bei grösserer Höhe wird die Luft in der kalten Steigröhre emporfliessen. Nimmt man an, dass bei einer der obigen Figur ähnlichen Anlage der ganze Apparat unter dem Erdboden mit kalter Luft gefüllt sei, also auch die Zuflussröhre der äusseren Luft, und dass die Luft im Heizapparate die Temperatur der äusseren Luft habe, so ist eine sehr geringe Erhitzung und ein sehr kurzer Röhrenaufsatz genügend, einen gehörigen Effect hervorzubringen; denn die ganzen Luftmassen auf beiden Seiten sind schon vor der Erwärmung gegenseitig im Gleichgewicht. Da aber die Luft aus dem kalten Raume vollständig entfernt werden, vollständig durch die äussere wärmere Luft ersetzt werden

soll, so wird der ungünstigste Fall alsdann eintreten, wenn nur noch eine geringe Schicht der kalten Luft sich über der Ausflussmündung im tiefen Raume befindet. Unter dieser Annahme muss also auch der Wärmeapparat berechnet werden.

Der durch die Summe der Gewichte der kältesten Luftsäule von der Höhe h und der wärmsten Luftsäule von der Höhe h_1 in der Steigröhre veranlasste vertical abwärts wirkende Druck muss geringer sein, als der durch das Gewicht der Luftsäule von der äusseren Temperatur und der Höhe $(h + h_1)$ veranlasste und nach der Steigröhre fortgepflanzte, daselbst aufwärts wirkende Druck; denn wenn dieses nicht der Fall ist, so wird allerdings die erwärmte Luft durch die Röhre über dem Heizkasten aus diesem entweichen, zum Ersatz dieser abfliessenden Luft wird aber die äussere Luft durch dieselbe Röhre auf dem Wege der Doppelströmung in den Kasten herabfliessen. Es muss folglich, wenn bis zu Ende der Apparat wirksam bleiben soll, die Temperatur T, welche durch eine Vermischung der h_1 Meter hohen Luftsäule von der Temperatur T_1 und der h Meter hohen Luftsäule von der Temperatur t_1 entstehen würde, höher sein, als die äussere Temperatur t.

Für die resultirende Temperatur, wenn sich N Raumtheile Luft von der Temperatur t und M Raumtheile von der Temperatur T mischen, wurde früher die Gleichung entwickelt (§. 54):

$$t_0 = \frac{Nt(1 + aT) + MT(1 + at)}{N(1 + aT) + M(1 + at)}$$

wobei a den Coëfficienten der Ausdehnung für 1° C. oder die Zahl 0,003665 bezeichnet.

Im gegenwärtigen Falle kommt es auf die Raumtheile der ungleich warmen Luftmenge direct nicht an, sondern auf das Verhältniss der Höhen der Luftsäulen, so dass nun $N = h$, $M = h_1$ zu setzen ist; nach der bereits festgestellten Bezeichnung der Temperaturen t_1 und T_1, welche den Säulen von den Höhen h und h_1 angehören, wird nun die resultirende Temperatur T:

$$T = \frac{ht_1(1 + aT_1) + h_1 T_1(1 + at_1)}{h(1 + aT_1) + h_1 (1 + at_1)}$$

Diese resultirende Temperatur T muss ebenso gross sein, als die äussere Temperatur t, wenn die Luftmassen auf beiden Seiten gerade im Gleichgewichte sein sollen.

Demnach müsste man für den Zustand des Gleichgewichts setzen $T = t$; und wenn man für T den obigen allgemeinen Werth setzt, so findet man durch einfache Umformung die Höhe h_1.

Es ergeben sich nämlich die Gleichungen:

$$ht_1 (1 + a T_1) + h_1 T_1 (1 + a t_1) = h t (1 + a T_1) + h_1 t (1 + a t_1)$$
$$h_1 (1 + a t_1) (T_1 - t) = h (1 + a T_1) (t - t_1)$$

Daraus ist die gesuchte Höhe h_1 der erhitzten Luftsäule:

$$h_1 = h \frac{(1 + a T_1)(t - t_1)}{(1 + a t_1)(T_1 - t)}$$

Diese Höhe wäre für die erhitzte Luftsäule nöthig, um gerade Gleichgewicht zu erhalten; um nun zu bewirken, dass die kalte Luft durch die Steigröhre emporgehoben wird, muss man entweder die Höhe h_1 grösser machen, als obiger Werth angiebt, oder die Luft im Wärmeapparate höher erhitzen, die Temperatur der Säule h_1, nämlich T_1 vergrössern. Obgleich diese Temperatur T_1 im Zähler und Nenner positiv vorkommt, so erkennt man doch leicht, dass bei Vergrösserung des Werthes von T_1 der Nenner viel rascher wächst als der Zähler, dass also durch Vergrösserung des Werthes von T_1 eine Werthverminderung des Bruches erfolgt. Man kann also principiell durch Erhöhung der Temperatur T_1 dieselbe Wirkung erreichen, wie durch Vergrösserung der Höhe h_1 der erhitzten Luftsäule, was auch schon aus früheren allgemeinen Sätzen hervorgeht.

Der Gedanke liegt nahe, die Steigröhre nicht in einen besonderen Luftkasten, sondern in den Feuerraum münden zu lassen, eventuell unter den Rost der Feuerung. Dieses wäre aber in den meisten Fällen unzweckmässig, indem die aus der Tiefe kommende Luft wegen grossen Kohlensäuregehaltes zur Verbrennung untauglich sein, oder ihre Menge nicht im richtigen Verhältniss zu dem für gute Verbrennung nothwendigen Luftquantum stehen würde. Es ist desshalb besser, die Verbrennung durch besondere directe Luftzuführung nach Bedarf zu reguliren. Zweckmässig ist jedoch, Luft und Verbrennungsgase in der Röhre über den Kasten zu vereinigen.

Eine zweckmässige Aufgabe wird auch die sein, die Relation zwischen der zu bestimmenden Höhe h_1 und der Temperatur T_1 direct nach einer bestimmt als Minimum geforderten Differenz zwischen der Mischungstemperatur T und der äusseren Temperatur t darzustellen.

Um genügende Bewegung hervorzubringen, mag man die Differenz $(T - t)$ wenigstens 4 bis 5° annehmen. Setzt man als Bedingung $(T - t) = 5$, so ist auch

$$\frac{h t_1 (1 + a T_1) + h_1 T_1 (1 + a t_1)}{h (1 + a T_1) + h_1 (1 + a t_1)} - t = 5$$

Aus dieser Gleichung kann man nun das Minimum der Erhitzung oder der Temperatur T_1 für eine bestimmte Höhe h_1, oder da unter Umständen selbst dieses Minimum der Temperatur T_1 nicht zu erreichen

sein könnte, das Minimum der Röhrenhöhe h_1 für eine bestimmte leicht zu erreichende Temperatur T_1 berechnen. Man erhält alsdann:

$$h_1 = h \frac{(1 + a T_1)(5 + t - t_1)}{(1 + a t_1)(T_1 - t - 5)}$$

als allgemeinen Ausdruck der für eine ziemlich wirksame Bewegung der Luft nöthigen Höhe des Wärmeapparates, wenn die einzelnen Temperaturen bekannt sind.

Nicht immer genügt es vollständig, die Temperatur der Luft des kalten Raumes in die Rechnung einzuführen, da die Luft durch Beimengung specifisch schwererer Gase selbst ein grösseres specifisches Gewicht haben kann, als die äussere reinere Luft bei derselben Temperatur und Spannkraft. Es ist desshalb, wenn man solche genauere Untersuchung und Berechnung nicht anstellt, die Höhe des Wärmeapparates, eigentlich der Röhre über dem Heizkasten immer etwas grösser zu machen, als man dieselbe nach obiger Berechnungsweise findet, wobei übrigens die Hindernisse der Bewegung unter gewöhnlichen Umständen eine weitere Vergrösserung jener Höhe nicht verlangen, wenn geringe Geschwindigkeit genügt.

§. 123.

Ventilation eines offenen Schachtes durch Wärmeentwickelung über demselben.

Man erkennt leicht, dass die Einrichtung für die Ventilation eines offenen Schachtes in der zuletzt erwähnten Weise gemacht werden kann und dass auch die Berechnung der nothwendigen Temperatur und der erforderlichen Höhe der erhitzten Luftsäule von jenen Berechnungen nicht abweicht. Im Grunde nur als Aufgabe zur Erläuterung der zuletzt entwickelten Gleichung soll dieser Fall hier aufgenommen werden.

Es ist bekannt, dass sich in gewisser Tiefe unter der Erde, namentlich in Brunnen, sehr schädliche Gase anhäufen. Die Fälle sind nicht selten, dass Brunnenarbeiter, die sorglos in einen Brunnenschacht hinabstiegen, plötzlich den Erstickungstod gefunden haben.

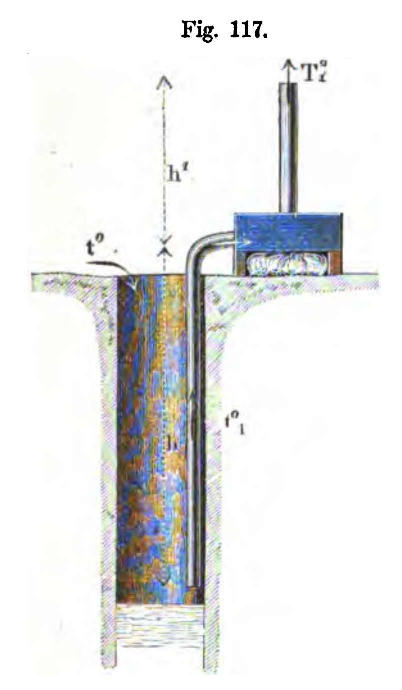
Für das specifische Gewicht der Brunnenluft kann man das specifische Gewicht der äusseren Luft bei derselben Temperatur annehmen; dieselbe enthält allerdings gewöhnlich eine bedeutende Menge Kohlensäure, also ein specifisch schwereres Gas, daneben aber viel Wassergas und Wasserstoffgase, welche ihr specifisches Gewicht wieder verringern. Es ist an sich klar, dass bei Räumen, welche oben offen sind, also

auch bei Brunnen, die in der vorigen Figur angegebene Zuleitungsröhre der äusseren Luft unnöthig ist. (Fig. 117).

Die Aufgabe mag nun in folgender Weise näher bestimmt sein:

Aus einem Brunnen von 4 Quadratmeter Oeffnung und 15 Meter Tiefe vom oberen Rande bis zum Wasserspiegel sollen wegen nöthig gewordener Arbeiten in der Tiefe des Brunnens die schädlichen Gase abgeführt werden. Die Luft im Brunnen habe die Temperatur $t_1 = 5^0$ C., die äussere Luft $t = 10^0$ C.; die Luft kann im Wärmeapparate bei ruhigem Durchflusse auf $T_1 = 50^0$ erhitzt werden. Es fragt sich nun, wie hoch die Röhre über dem Blechkasten sein muss, damit man überhaupt mit Gewissheit die Ableitung der Brunnenluft erwarten kann, und ferner, in welcher Zeit die Anfüllung des Brunnenschachtes mit reiner Luft sicher erfolgt sein wird.

Fig. 117.



Da die Steigröhre ungefähr $^1/_3$ Meter von dem Wasserspiegel entfernt bleiben muss, und der Boden des Heizkastens etwa eben so hoch über dem Rande des Brunnens sich befinden soll, so ist die Höhe der kalten Steigröhre der Brunnentiefe gleich, oder $h = 15$ Meter; ferner ist $T_1 = 50^0$, $t = 10^0$, $t_1 = 5^0$. Soll unter diesen Voraussetzungen die gedachte resultirende Temperatur in der gesammten Steigröhre 5^0 höher sein, als die Temperatur der äusseren Luft, so bestimmt sich die Höhe h_1 des Heizkastens sammt der aufgesetzten Röhre nach der in §. 122 entwickelten Gleichung. Setzt man in diese sogleich die speciellen Werthe ein, so erhält man:

$$h_1 = 15 \frac{(1 + 0{,}003665 \,.\, 50)\,(5 + 10 - 5)}{(1 + 0{,}003665 \,.\, 5)\,(50 - 10 - 5)}$$

$$h_1 = 4{,}97 \text{ Meter.}$$

Die auf 50° erhitzte Luftsäule muss also eine Höhe von nahezu 5 Meter haben.

Sucht man die Geschwindigkeit des Ausflusses, so ergiebt sich dieselbe, weil der Unterschied der resultirenden Temperatur in der Steig-

röhre gegen die äussere Temperatur etwa 5^0 sein soll, und nach der zu Grunde gelegten Gleichung auch wirklich so gross angenommen ist, (nach §. 117) aus der Gleichung

$$c = \sqrt{5} \, . \, \frac{1}{8} \sqrt{H}$$

und da $H = 15 + 5 = 20$ Meter ist, so erhält man

$$c = \frac{1}{8} \sqrt{5 \, . \, 20} = \frac{10}{8} = 1{,}25 \text{ Meter}$$

in der Secunde.

Die Geschwindigkeit wird gegen das Ende des Ausflusses hin diese berechnete von ungefähr $1\frac{1}{4}$ Meter in der Secunde sein. Sowohl für den Beginn, als auch unter der Annahme, dass bereits die äussere wärmere Luft die Hälfte des Brunnens füllt, könnte man auf bekannte Weise speciell die Geschwindigkeiten berechnen. Man erkennt übrigens leicht, dass die Geschwindigkeit im Anfange am grössten sein und allmählich auf $1\frac{1}{4}$ Meter abnehmen wird. Zur grösseren Sicherheit mag jedoch die geringste Geschwindigkeit von $1\frac{1}{4}$ Meter in der Secunde als constante Geschwindigkeit für die Berechnung der zum Austausch der Luft im ganzen Brunnenschachte nöthigen Zeit beibehalten werden.

Die Luft im Brunnen hat das Volumen $4 \, . \, 15 = 60$ Cubikmeter. Giebt man der Steigröhre (welche über dem Heizkasten aus Thon oder Blech gefertigt, im Brunnen selbst aus Brettern zusammengefügt sein kann) den lichten Querschnitt $\frac{1}{20}$ Quadratmeter, so fliessen in 1 Secunde $1\frac{1}{4} \, . \, \frac{1}{20} = \frac{1}{16} = 0{,}0625$ Cubikmeter Luft empor. Die Zeit z, welche zur Entfernung der 60 Cubikmeter Luft nöthig ist, ergiebt sich demnach

$$z = \frac{60}{0{,}0625} = 960 \text{ Secunden} = 16 \text{ Minuten.}$$

Man kann sonach, wenn der Apparat ungefähr eine Viertelstunde bei lebhaftem Feuer gewirkt hat, in den Brunnen ohne die geringste Gefahr hinabsteigen.

Bei Anwendung engerer Röhren müsste man verhältnissmässig länger warten. Da es aber gewöhnlich ohne Belang sein wird, wenn eine Stunde lang oder noch länger vor Beginn der Brunnenarbeit geheizt werden muss, so kann man sehr enge Röhren, etwa gewöhnliche Ofenröhren anwenden. Durch ein hinabgelassenes Licht kann man sich von der Beschaffenheit der Luft überzeugen; brennt dieses gut fort, so ist die Luft ungefährlich.

§. 124.

Ventilation durch die saugende Wirkung des Windes.

Bei den vorerwähnten Ventilationsapparaten ist auf äussere Luftströmungen keine Rücksicht genommen; die Winde können je nach ihrer Richtung die Wirkung der Apparate erhöhen, aber auch stören. Zweckmässig wird es demnach sein, Vorrichtungen anzubringen, durch welche diese Störungen vermieden, unter günstigen Umständen selbst die beabsichtigten Luftströmungen im Apparate hervorgebracht, folglich Kosten für das Brennmaterial gespart werden können. Die Ventilation kann auch stattfinden, wenn in den bereits behandelten Fällen die Luft im äussersten Theile der Ausflussröhre nicht durch Wärme, sondern durch Expansion mit Verminderung der Spannkraft, nicht also relativ, sondern absolut verdünnt wird; und zu diesem Zwecke lassen sich die Luftströmungen in der Atmosphäre benützen. Es wurde oben (§. 73 und 74) gezeigt, dass ein Luftstrom, wenn ihm ein fester Körper im Wege steht, die Luft hinter diesem Körper durch Reibung mit sich fortreisst, so dass an jener Stelle absolute Luftverdünnung verursacht wird; dass ferner auch ein Luftstrom, indem er durch die Ausbreitung an einer Fläche oder durch die Strömung aus einem engeren Raume in einen weiteren sich selbst absolut verdünnt, ein Zuströmen der Luft aus der Umgebung veranlasst. Diese Umstände lassen sich vortheilhaft für die Ventilationsapparate in Anwendung bringen. Durch den Wind wird die Luft hinter jedem Körper (nämlich an der vom Winde abgewendeten Seite), also auch hinter einer Ventilationsröhre absolut verdünnt. Giebt man also einer Ventilationsröhre eine vom Winde abgewendete Oeffnung, so ist während der Windbewegung in dieser Richtung der Druck an der geöffneten Stelle geringer als der Luftdruck auf der anderen Seite des zu ventilirenden Raumes, wo der Wind nicht in solcher Weise zur Wirkung gelangt. Je grösser man die Oeffnung macht, desto grösser muss auch die Wirkung werden. Somit erhält man nach diesem Prinzip mit der grössten Einfachheit eine zweckmässige Abflussröhre, indem man die Röhre selbst oben erweitert, und weil die Windströmungen grösstentheils nicht viel von der horizontalen Richtung abweichen, den obersten Theil der Röhre so krümmt, dass die Mündung vertical wird. Da endlich aber auch der Wind aus allen Himmelsgegenden kommen kann und seine Richtung nie für lange Zeit eine constante ist, so muss man durch eine Windfahne dafür sorgen, dass die Mündung der Röhre dem Winde nicht zugekehrt

bleibt. Diesen Bedingungen entspricht der in Fig. 118 angedeutete Apparat.

Die Wirkung dieser einfachen Vorrichtung darf wohl eine überraschend grosse genannt werden, wie folgender Versuch zeigt (Fig. 119):

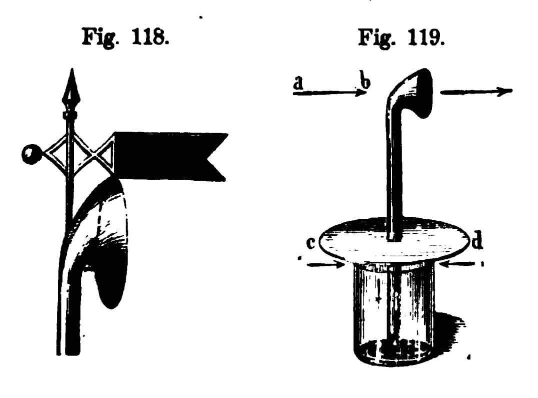


Fig. 118. Fig. 119.

Ich brachte ein aus Pappe gefertigtes Modell dieser Röhrenmündung auf einer Glasröhre an von etwa 3 Centimeter Durchmesser und 60 Centimeter Länge, die unten schräg abgebrochen war, um die Röhre durch das Aufstellen nicht zu schliessen, und stellte die Glasröhre in ein offenes grosses Glas, welches ich kurz vorher mit Cigarrenrauch gefüllt hatte, indem ich denselben ruhig in das Glas sinken liess. Der Rauch blieb fast ganz ruhig im Glase, so lange heftige Bewegungen der Luft in der Umgebung vermieden wurden; der Rauch ist nämlich specifisch schwerer als Luft von derselben Temperatur, wird aber von bewegter Luft durch Reibung und Mischung leicht fortgerissen. Nachdem ich die Röhre ruhig in das Glas gestellt, blies ich mit dem Munde in der gezeichneten Richtung *a b*. In demselben Augenblicke war auch schon der Rauch durch die Röhre vor die Oeffnung geflossen und im Luftstrome mit hinweggenommen. Um durch das Blasen nicht auf den Rauch im Glase direct einzuwirken, hatte ich die Röhre durch eine Scheibe *c d* gesteckt, welche in geringem Abstande über dem Rande des Glases befestigt, diesen nach allen Seiten überragte, ohne dass dadurch der Druck der äusseren Luft vermindert wurde; obige Wirkung ist nämlich nicht zu erzielen, wenn die Scheibe dicht auf dem Rande des Glases liegt, was sich von selbst erklärt.

Bei diesem Versuche liegt der Gedanke sehr nahe, doch auch eine gewisse Zeitdifferenz zwischen dem Beginne des Blasens und dem Beginne des Ausfliessens zu beobachten, um so auf die Geschwindigkeit der Luftbewegung schliessen zu können. Eine solche Beobachtung war bei der Röhre von 60 Centimeter Länge nicht möglich. Desshalb brachte ich über der Glasröhre eine längere Röhre aus Pappe, und über dieser die gekrümmte Röhre an; die ganze Röhrenhöhe war nun 2 Meter. Durch die Glasröhre konnte man bemerken, dass der Rauch fast ruhig

in dieser ebenso hoch stand, wie im Glase. Bei mässigem Blasen sah man den Rauch nach einer Secunde durch die obere Röhrenmündung ausfliessen; bei stärkerem Blasen noch viel früher.

Dass wirklich nur durch das Blasen der Rauch emporgesaugt, vielmehr in Folge dieses Saugens von der anderen Seite her emporgehoben wurde, das erkannte man sehr deutlich durch die Erscheinung, dass, so oft ich mit dem Blasen aufhörte, die ganze Rauchmasse aus der Röhre wieder in das Glas hinabsank. Es durften aber hiebei weder andere Luftströmungen in der Nähe der Röhre erregt werden, noch durfte man die Röhre auf irgend eine Weise, selbst nicht durch Umfassen mit der Hand erwärmen.

Bei dem letzten Versuche erhielt die Luft in der Röhre durch eine äussere Bewegung, welche einem lebhaften Winde zu vergleichen ist, wie erwähnt eine Geschwindigkeit von 2 Meter in der Secunde. Nimmt man an, es sollte diese Geschwindigkeit durch eine Temperaturdifferenz von 4° hervorgebracht werden, so müsste zu diesem Zwecke die mit der wärmeren Luft gefüllte Röhre die Höhe von ungefähr 64 Meter haben, oder bei einer Temperaturdifferenz von 8° ungefähr 32 Meter Höhe. Man hat nämlich bei der Temperaturdifferenz von 4° mit Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung.

$$c = \sqrt{4} \,.\, \tfrac{1}{8} \sqrt{H} = \tfrac{1}{4} \sqrt{H}$$

und für die Geschwindigkeit von 2 Meter:

$$2 = \tfrac{1}{4} \sqrt{H}$$
$$8 = \sqrt{H}$$
$$H = 8^2 = 64 \text{ Meter.}$$

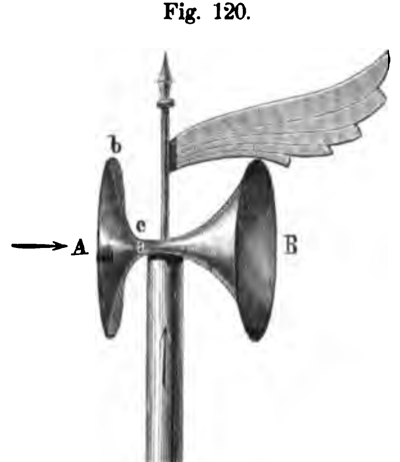
Ein starker Wind kann sonach eine Wirkung an der erwähnten Vorrichtung hervorbringen, welche durch gewöhnliche Temperaturdifferenzen und Druckhöhen nicht erreichbar ist.

Um die Ausbreitung des Luftstromes sowohl wie die Reibung noch in anderer Weise zu benützen, habe ich folgenden Apparat (Fig. 120) construirt, welcher sich noch wirksamer gezeigt hat, als der vorhergehende.

Der Apparat ist in der Hauptsache aus zwei conischen, trichterförmigen Theilen zusammengesetzt, deren Wände bei dem einen Theile *A* wenig convergiren, einen Fangschirm bilden, während der andere Theil *B* mehr die Form des Trichters behält und über die verticale Ausflussröhre vom Fangschirme aus divergirend übergreift. Der Fangschirm *A* steht dem Winde entgegen; der gegen diese Fläche fliessende

Wind wird nach der Mitte *a* geleitet, und muss sich von da in den grösseren Raum nach der grossen Mündung des Trichters *B* hin ausbreiten. Dadurch wird nicht nur die Luft im Trichter verdünnt, was ein Emporfliessen der Luft in der Röhre veranlassen muss, sondern die bei *a* am Fangschirme zusammengetriebene, gepresste Luftmasse strömt, wenngleich divergirend und sich verdünnend, mit grosser Geschwindigkeit über die Röhrenmündung weg und verursacht bedeutende Reibung an der in der verticalen Röhre befindlichen Luft, was allein schon die Luftbewegung in der Röhre hervorbringen würde. Dazu kommt noch die Wirkung jener Luftverdünnung, welche vor der Oeffnung *B* des Trichters, wie beim vorigen Apparate erzeugt wird. Man muss freilich annehmen, dass diese letztere Wirkung hier weniger für die Röhre zur Geltung kommt, weil die Luft zum Ersatz der bei *B* weggerissenen Luft von *A* her theilweise herbeifliesst. Die Gesammtwirkung ist jedoch, wie wenigstens Versuche im Kleinen gezeigt haben, eine ausserordentliche.

Fig. 120.



Der Apparat ist mit Vorsicht und Ueberlegung auszuführen, wenn der Zweck nicht verfehlt werden soll. Dass eine leichte Drehung durch die Windfahne ermöglicht sein muss, versteht sich von selbst; aber ausserdem ist noch zu bemerken: die Mündung der verticalen Röhre muss an die Trichterwand entschieden so anstossen, dass der über diese Mündung wegfliessende Luftstrom durchaus nicht mehr comprimirt wird, sondern bereits begonnen hat, sich auszubreiten. Eine cylindrische Verbindung des Trichters mit dem Fangschirm kann schon nachtheilig werden, um so mehr eine Fortsetzung der Verengung des Fangschirms über die Röhrenmündung hin, oder auch nur die Verengung bis dicht an diese Mündung. Wenn man z. B. von *B* gegen *A* hinbläst, so wird sämmtlicher Rauch, welcher vorher die Röhre anfüllte, augenblicklich in das Glas hinabgetrieben und fliesst aus dem Glase selbst aus. Der Fangschirm muss so eingerichtet sein, dass die verlängerte Richtung *b c* nicht in die Röhrenmündung treffen kann, weil sonst ebenfalls ein grosser Theil des Windes in die Röhre hinabgeleitet würde, anstatt gänzlich über derselben hinzufliessen.

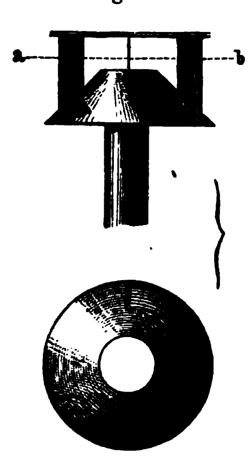
Wenn nun auch die genannten drehbaren Saugapparate principiell, ich möchte sagen in physikalischer Hinsicht, Interesse bieten, und bei Ventilationsapparaten wo nicht etwa auch Ofenrauch in die Räume zurückgetrieben werden kann, eine momentane Störung durch plötzliche Wendung des Windes kaum zur Beachtung kommt, so wird man für die praktische Anwendung doch immer mit Recht feste Apparate vorziehen, indem durch Rost und Staub die Beweglichkeit des Apparates mit der Zeit geringer wird, auch die Töne, wenn man es so nennen darf, welche durch die Reibung der einzelnen Theile erzeugt werden und die sich nun durch die Ventilationsröhren in die Räume leicht fortpflanzen, sehr lästig werden können. Auch hat ein drehbarer Apparat die Dauer eines festen nicht. In der That lassen sich mit Beibehaltung der obigen Prinzipien feste Apparate construiren, welche jenen in der Wirkung nicht nachstehen und für jede Richtung des Windes gleich vortrefflich sind.

Der Apparat muss dann nach allen Seiten offen sein, und es kommt in Bezug auf die an der dem Winde zugekehrten Seite eindringende Luft darauf an, eine weitere Pressung derselben über der Röhrenmündung zu verhüten, den Wind auf ziemlich grosser Fläche aufzufangen und so zu leiten, dass er, über die Mündung hinwegfliessend, die oberste ruhige Luft aus der Röhre durch Reibung mit sich reisse. Auch ist dafür zu sorgen, dass geneigte und selbst vertical abwärtsgerichtete Luftströme nicht in die Röhre gelangen können, dass im Gegentheil alle möglichst vortheilhaft benützt werden. Da der Wind, welcher eine feste Fläche trifft, nicht zurückprallt, sondern sich an der Fläche selbst ausbreitet und sich in deren Richtung fortbewegt, so ist auch zu beachten, dass nicht gerade in entgegengesetzter Richtung an der Ausflussöffnung sich zwei Luftströme treffen dürfen, weil dadurch ein Luftwirbel — eine Unregelmässigkeit in der Bewegung im besten Falle — über der Mündung entstehen würde.

Ein Apparat, welchen ich nach diesen Bedingungen construirt habe, ist durch Fig. 121 in der Ansicht und im horizontalen Schnitte nach *a b* dargestellt. An der Mündung der Steigröhre ist ein conischer Schirm unter 45° geneigt angebracht. Auf diesem Schirme stehen in gleichmässigen Abständen drei verticale Wände, welche eine horizontale Deckplatte tragen. Anstatt der verticalen Wände kann man auch nur Stäbchen zur Befestigung der Platte auf dem Schirme anbringen; die verticalen Wände haben den Vorzug, dass sie selbst noch absolute Luftverdünnung auf der vom Winde abgekehrten Seite veranlassen, andererseits dazu dienen, den Wind mehr über die Mündung hinzuleiten. Doch

müssen die Wände wenigstens um den halben Röhrendurchmesser von der Mündung entfernt bleiben, weil sonst der zwischen zwei Wände eingepresste Wind erst über der Röhrenmündung beginnen würde sich auszubreiten, wodurch ein Theil dieser Luftmasse in die Röhre gelangen könnte; auch müsste ein Luftstrom, welcher eine von den Wänden nahezu normal trifft, in Folge seiner Ausbreitung nach allen Seiten in der Richtung der Fläche zum Theil in die Röhre gelangen, wenn die Wand bis an die Röhrenmündung reichen würde.

Fig. 121.



Dieser Saugapparat kann aus Thon, Eisenblech, Gusseisen angefertigt werden; auch ganz oder theilweise aus Holz, wenn er mit heisser Luft oder Rauch nicht in Berührung kommt.

Noch dürfte die Frage zu beantworten sein, ob nicht eine grössere Anzahl der Wände und folglich der Abtheilungen oder Kammern des Apparates vortheilhaft wäre. In Fig. 121 ist der Apparat, vielmehr der Raum zwischen Schirm und Deckplatte in drei Kammern getheilt; eine grössere Anzahl von Kammern ist nicht nothwendig; im Gegentheil, durch eine grössere Anzahl von Wänden würden Luftströmungen in zu vielen Nebenrichtungen entstehen, welche den Hauptstrom schwächen; jedenfalls muss man für die Anzahl der Wände eine ungerade Zahl wählen, weil sonst, unter Voraussetzung gleicher Grösse der Kammern, je zwei Wände in eine Ebene zu liegen kämen; trifft nun der Wind normal, bei 6 oder 8 Wänden auch nur gegen einen Theil dieser beiden Flächen, so nehmen die von diesen Flächen nach der Mitte hin abfliessenden Lufttheilchen die Richtung an, dass sie sich über der Röhrenöffnung gerade begegnen müssten; wird nun dieses vielleicht auch nicht stattfinden, weil die grössere Stärke des Hauptstromes jene Bewegung nicht duldet, so wird doch durch jene Seitenwirkungen die Hauptwirkung geschwächt. *Den Apparat in vier Kammern abzutheilen, ist demnach schon nicht mehr so zweckmässig wie die Anordnung der drei Kammern*, welche die Figur zeigt.

§. 125.

Weitere Mittheilungen über Aufsätze für Schornsteine, Ventilationsröhren und Laternen.

Die vorstehend beschriebenen und die in den folgenden Paragraphen zur Darstellung gelangenden Apparate, an welchen der Wind saugend wirkt, sind unter vielen Umständen, wie aus Obigem hervorgeht, unbestreitbar nützlich, der Ventilation förderlich. Doch darf man ihren Nutzen, ihre Wirkung, nicht allzuhoch anschlagen. Obgleich die Luft in der Atmosphäre niemals völlig in Ruhe ist, sich selbst zu solchen Zeiten, wo wir keine Luftbewegung wahrnehmen, noch mit einer Geschwindigkeit von ungefähr $^1/_2$ Meter in der Secunde bewegt, die mittlere Windgeschwindigkeit aber überall viel grösser ist (§. 87), obgleich ferner solche Saugapparate in der Regel über dem Dache anzubringen wären, und in einiger Höhe über dem Erdboden die Luftströmungen merklich stärker und regelmässiger sind; so ist doch häufig der Wind nicht stark und regelmässig genug, um vermöge seiner saugenden Wirkung an den Apparaten eine kalte Luftsäule von bedeutender Höhe zu heben und anderseitige Gegenwirkungen zu überwinden.

Indessen sind solche Apparate schon dadurch in hohem Grade werthvoll, dass sie die an ungeschützten Ausflussmündungen auftretenden schädlichen Einflüsse des Windes, Regens und der Sonnenstrahlen beseitigen oder doch vermindern, demnach als Schutzapparate nicht nur für Luftabführungsschächte bei vielen Ventilationseinrichtungen, sondern auch für Rauchschornsteine und Laternen dienen.

Da in constructiver Beziehung diese Verschiedenheit des Zwecks keinen wesentlichen Unterschied begründet und man unter Schornstein jede aus einem Raume aufwärts in's Freie geführte Röhre bezeichnen kann, welche bestimmt ist, unbrauchbare Gase abzuführen, in der That auch die Bezeichnungen Ventilations-Schornstein, Rauchschornstein, Laternenschornstein bereits in der Praxis gebräuchlich sind, so mögen im Folgenden noch einige Schutz- und Verbesserungs-Apparate für Luftabflussschächte als Schornsteinaufsätze vorgeführt werden.

Es existirt eine grosse Menge solcher Vorrichtungen unter verschiedenen Namen, als Schornsteinkopf, Kaminhut, Schlothaube, Windkappe, Deflector, in neuerer Zeit als Rauch- und Luftsauger, auch Saugkappe, Sauger.

Bei weitem die wenigsten von diesen Apparaten, so complicirt und kostspielig viele derselben sind, erfüllen ihren Zweck in einem solchen

Grade, wie man es billiger Weise verlangen kann. Worin die Mangelhaftigkeit liegt, lässt sich erkennen, wenn man eine solche Vorrichtung nach den physikalischen Gesetzen der Luftströmungen beurtheilt.

Einige Mängel der beweglichen Vorrichtungen sind bereits in §. 124 angegeben. Wenn aber, wie dort gesagt ist, bei eigentlichen Ventilationsschächten eine momentane Störung durch plötzliche Wendung des Windes kaum zur Beachtung kommt, so ist bei Rauchschornsteinen das Zurückströmen auch nur kleiner Rauchmengen sehr misslich. Bei solchen wird auch durch Russ und theerartige Niederschläge die Beweglichkeit in kurzer Zeit vermindert.

Wie aus der Erfahrung genügend bekannt ist, sind die äusseren Luftbewegungen oft zu schwach, um die Hindernisse der Bewegung im Apparate zu überwinden. Bei schwachen Luftstössen sowohl als auch besonders bei stürmischem Wetter, wo die Luftströmungen oft plötzlich ihre Richtung ändern, kommt es leicht vor, dass der Rauch gerade wegen der aufgesetzten Drehkappe erst recht durch den Schornstein zurückgetrieben wird.

Da überdies die beweglichen Apparate die Dauer der festen nicht haben, so soll im Folgenden nur von den festen Schornsteinaufsätzen die Rede sein.

Manche Ingenieure bezeichnen jeden gesimsartigen Vorsprung an Schornsteinmündungen als unzweckmässig. Es ist allerdings richtig, dass der von unten nach oben an einer äusseren Schornsteinwand hingleitende Wind, ebenso bei ganz oder nahezu horizontalem Winde jene Luftmenge, welche sich ausbreitend jene Fläche aufwärts verfolgt und — wie nach dem in Fig. 65 dargestellten Experiment unzweifelhaft ist — saugend auf die Schornsteinluft wirken würde, durch den Gesimsvorsprung eine Ablenkung erleidet. Allein nach den in Fig. 60 und Fig. 61 dargestellten Erscheinungen und nach dem daselbst über die Wirkung des Einblasens in den hohlen Theil des Kegels Gesagten wird durch solchen Vorsprung die saugende Wirkung des Windes nicht aufgehoben. Und selbst wenn dieses der Fall wäre, so ist zu bedenken, dass der erste Zweck solcher Apparate der des Schutzes gegen Störungen bei ungünstig gerichteten Winden ist, dass aber bei horizontalem oder aufwärtsgerichtetem Winde diese Störungen an der Schornsteinmündung nicht vorkommen — ausser bei unverständig construirten Schornsteinkappen — dass sie dagegen häufig sind bei abwärts gerichteten Windstössen, gegen die folglich vor Allem Schutzmittel nöthig oder doch vortheilhaft sind.

Um zunächst in einfachster Weise dem wenig von oben nach

unten geneigten Winde eine unschädliche oder noch vortheilhafte Richtung zu geben, ist es zweckdienlich, den Schornstein oben in einer ziemlich ausgedehnten schrägen Fläche endigen zu lassen (Fig. 122), wobei man eine weit ausladende Platte anwendet.

Fig. 122.

Man denke sich vorerst den Schornsteinquerschnitt quadratisch und die Richtung des Windes parallel mit einer Schornsteinwandung.

Die Lufttheilchen, welche im Winde nach der Richtung AB auf die schräge Fläche getrieben werden, müssen sich nun zunächst grösstentheils in der Richtung BC fortbewegen, setzen folglich den gleichzeitig in der Richtung DE sich gegen die Mündung des Schornsteins hinbewegenden Lufttheilchen einen beträchtlichen Widerstand entgegen, so dass diese, gemeinschaftlich mit jenen in der Richtung der gemeinsamen Mittelkraft, also etwa in der Richtung EF über die Mündung weggeführt werden.

Man erkennt leicht, dass diese Einrichtung bei sehr stark von oben nach unten geneigtem Winde nicht genügt; auch ist der Schornstein gegen das Eindringen des Regens und der Sonnenstrahlen nicht geschützt. Diesem Mangel ist durch eine in geringer Höhe über der Mündung horizontal angebrachte ziemlich grosse Platte abzuhelfen.

Wollte man das verticale Aufwärtssteigen des Rauches nach dem Austritte aus der Schornsteinmündung nicht hemmen, so könnte man anstatt der horizontalen Platte einen mit der schrägen Schornsteinbegrenzung nahezu parallelen konischen oder pyramidalen Schirm anbringen, der in der Mitte in der Grösse der Schornsteinmündung ausgeschnitten wäre, oder man könnte auch durch hinreichend hohe, mit Oeffnungen versehene, verticale, schräge oder gekrümmte Wände dafür sorgen, dass Wind, Regen und Sonnenstrahlen höchstens in nahezu verticaler Richtung, welche Richtung selten vorhanden ist, in den Schornstein gelangen könnten.

Ich lege jedoch auf die Erhaltung der verticalen Richtung des Rauches ausserhalb des Schornsteins nicht viel Gewicht. Vertical aufsteigende Rauchsäulen sehen wir doch nur bei ausnahmsweise ruhiger Atmosphäre; gewöhnlich wird der Rauch sofort nach dem Austritt aus dem Schornstein oder doch nach kurzem Aufsteigen seitlich hingetrieben. Demnach ist eine Schutzplatte über dem Schornstein keineswegs zweckwidrig.

Vortheilhaft ist auch das Verengen der Schornsteinmündung, wenn der Schornstein sehr weit ist, weil die in einem weiten Schornstein leicht entstehende Doppelströmung durch die Verengung der Mündung mehr verhütet wird. Indem nämlich die Geschwindigkeit des austretenden Rauches durch die Verengung sich vermehrt, wird dem Eindringen der äusseren Luft daselbst ein grösserer Widerstand entgegengesetzt. Bei nicht zu weiten Schornsteinen hingegen, welche leicht durch den warmen Rauch ausgefüllt erhalten werden, ist eine Verengung der Mündung nicht vortheilhaft, weil dadurch das Aufsteigen der ganzen Rauchsäule bedeutend gehemmt, dieselbe mehr abgekühlt würde. Was die Verengung in Rücksicht auf den Wind betrifft, so ist zu bemerken, dass der günstig geleitete Wind um so wirksamer wird, je grösser die Mündung des Schornsteins ist.

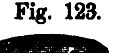
In Betreff des Materials und der Farbe der Schornsteinkappen ist noch Einiges zu berücksichtigen:

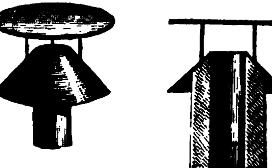
Um beim Sonnenschein eine möglichst gute und gleichmässige Erwärmung des Schornsteins hervorzubringen, eignet sich Metall, als guter Wärmeleiter (Eisenblech und bei engen Röhren auch Gusseisen), besser als Mauerwerk oder Thon.

Und was die Farbe angeht, so ist ein schwarzer Anstrich der vortheilhafteste, weil schwarze Gegenstände die Sonnenstrahlen am wenigsten zurückwerfen, am meisten absorbiren und deren Wärme folglich am reichlichsten ansammeln, auch mehr durch Leitung an die sie berührenden Körper übertragen. Um das Eisen gegen den Rost zu schützen, lasse man dasselbe zuerst mit Mennige und dann mit einem doppelten schwarzen Anstriche überziehen oder auch heiss theeren.

Fig. 123 zeigt eine nach obigen Angaben construirte Schornsteinkappe der einfachsten Art, schräg von oben gesehen, Fig. 124 dieselbe im verticalen Durchschnitte; in letzterer Figur ist auch der Durchschnitt des Schornsteinmauerwerks angegeben, durch welches die Kappe festgehalten wird.

Fig. 123. Fig. 124.





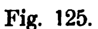
Der konische Schirm von Eisenblech ist etwa unter 45° geneigt und mit der verticalen Röhre vernietet. Mittels einiger Stäbchen ist die horizontale Deckplatte, eine Scheibe von Eisenblech, mit dem konischen Leitschirm verbunden. Jene Scheibe erhält wenigstens den dreifachen Durchmesser der Röhre und wird über der Mündung in einer Höhe angebracht, die etwas geringer ist, als der Durchmesser der Mündung.

Man überzeugt sich durch ein Modell dieses Apparates, dass es nicht leicht möglich ist, auf gewöhnliche Weise Luft durch die Röhre hinabzublasen, wenn man nicht unter der Platte in die Röhre bläst. Man mag, nachdem man die Röhre beliebig verlängert und in ein mit Rauch gefülltes Glas gestellt hat, mit dem Munde oder mittels eines Blasebalges in irgend einer beliebigen Richtung aus einiger Entfernung auf die Kappe blasen, oder durch Wehen mittels eines Stückes Pappe eine Luftbewegung veranlassen, immer wird dadurch der Rauch aus dem Glase emporgehoben.

Der Apparat ist rund dargestellt. Aus dem bei Figur 122 Gesagten geht hervor, dass der Wind unter sonst gleichen Umständen am meisten saugend an einer solchen Schirmplatte wirkt, wenn die den Wind über die Schornsteinmündung lenkende Platte nicht konisch gekrümmt, sondern eben ist und der Wind in der Richtung einer Mündungskante ankommt. Bei der Diagonalrichtung wird der Wind seitlich gelenkt ohne saugend über die Mündung wegzufliessen.

Die konische Form des Leitschirms, die jedenfalls in Bezug auf möglichste Gleichmässigkeit der Wirkung bei jeder Windrichtung die vortheilhafteste ist, kann auch bei quadratischem Querschnitte des Schornsteins beibehalten werden, indem man die Blechröhre etwa zur Hälfte ihrer Länge dem lichten Querschnitte des Schornsteins anpasst und diese Röhre oben aus dem quadratischen Prisma in den Cylinder überführt.

Der konische Leitschirm (Fig. 125) lässt sich leicht nach einer genauen Zeichnung anfertigen. Die Abwickelung oder Verstreckung des Schirmes, also die Form des Eisenbleches für denselben oder etwa des Papiers für ein Modell zum Experimentiren, erhält man auf folgende Weise: Man nehme die Erzeugende CA (Fig. 125) des ergänzten Kegels in den Zirkel, beschreibe damit als Halbmesser einen Kreis (Fig. 126); theile den unteren Durchmesser AB des Kegels in 7 Theile und trage 22 solcher Theile auf der Peripherie des vorhin gezogenen Kreises ab. Beschreibt man nun in diesen Kreis noch aus demselben Mittelpunkte den kleineren Bogen mit dem Halbmesser CD, so ist die Fläche des Schirmes vollständig aufgezeichnet; man hat nur noch die Niet- oder Klebstreifen hinzuzunehmen.


Fig. 125.

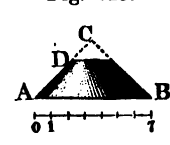
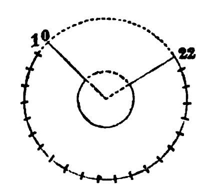


Fig. 126.



Obgleich bei den erwähnten Experimenten im Zimmer, wobei die Wirkung des Windes möglichst nachgeahmt wurde, die Wirkung dieses Apparates überraschend gut war, so hat sich doch bei Schornsteinen

dieselbe günstige Wirkung nicht herausgestellt. Verbesserung des Zuges war allerdings entschieden wahrzunehmen und das Zurückfliessen des Rauches kam viel seltener vor, allein es kam noch mitunter vor und zwar unter Umständen, wobei es nicht anders zu erklären war, als dass der Wind bei wenig geneigter Richtung unter der Platte noch in die Röhre blies.

Die im Folgenden zu beschreibenden Schornsteinkappen, welche von mir für sehr ungünstige Verhältnisse construirt worden sind, haben sich besser bewährt.

§. 126.

Beschreibung einer Schornsteinkappe.

Fig. 127 zeigt in isometrischer Darstellung und Fig. 128 im Verticalschnitte durch die Mitte eine Schornsteinkappe, welche oben offen ist. *A* ist ein Blechkasten, welcher Windkessel heissen mag. Derselbe hängt mit der in den Schornstein fassenden Röhre *B* mittels einer etwa unter 45° gebildeten Umkröpfung zusammen. Auf jeder der vier Seiten des Windkessels befindet sich eine Oeffnung *C*, deren Breite etwas grösser ist als die Weite des Schornsteins und deren Höhe etwas grösser als die Dicke der Schornsteinwand. Am unteren Ende ist die Röhre *B* nach innen aufgebogen, eine Rinne bildend, von welcher an einigen Stellen, etwa an jeder Seite, ein kleiner schräger Kanal oder eine Röhre durch die Schornsteinmauer geführt ist.

Fig. 127. Fig. 128.



Man erkennt leicht, dass auf diese Art die horizontalen und aufwärts gerichteten Winde sehr vortheilhaft auf den Zug wirken müssen und dass auch noch die ziemlich stark abwärts geneigten Winde unschädlich gemacht werden, indem sie nicht in die Mündung des Schornsteins gelangen können, sondern durch die Seitenöffnungen des Windkessels abgeführt werden.

Der Regen fällt selten ganz vertical herab, da wir selten Regen ohne Wind haben. Der grösste Theil des in den Windkessel gelangenden

Regenwassers fliesst durch dessen Seitenöffnungen schon über der Mündung des Schornsteins aus; die geringe Regenmenge jedoch, welche etwa gegen eine Wand der Röhre anschlägt, wird in der Rinne gesammelt und durch die Oeffnungen *EE* abgeleitet. Diese Oeffnungen sind dem Zuge durchaus nicht schädlich, im Gegentheile vortheilhaft; sie dürfen desshalb so weit sein, dass sie sich nicht leicht verstopfen.

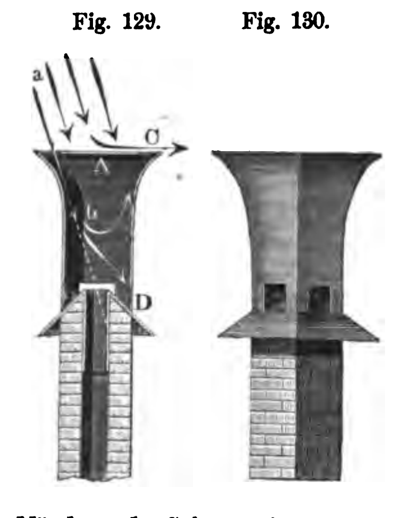
Die Ausführung des Apparates bietet keine Schwierigkeit, da sich die nöthigen Dimensionen unmittelbar aus einem genau gezeichneten Durchschnitte entnehmen lassen.

§. 127.

Beschreibung einer anderen Schornsteinkappe.

Fig. 129 stellt den mittleren Verticalschnitt, Fig. 130 die nach der Diagonalrichtung projicirte Ansicht einer Schornsteinkappe vor, welche in ihrer Form das Ausgiessen der Verbrennungsproducte vermöge der oben erweiterten Kelchform ausspricht, und in Bezug auf die Form jedenfalls den Vorzug vor der in Fig. 127 dargestellten verdienen dürfte. Ferner ist dabei durch die horizontale Platte *A*, welche durch zwei diagonal gelegte Eisenstäbchen in der Ebene des oberen Randes am Windkessel angebracht ist, dafür gesorgt, dass auch verticale Windstösse und der vertical herabfallende Regen nicht in den Schornstein gelangen können. Eine gewisse Richtung des Windes, wie *ab*, ist dabei noch denkbar, welche in die Mündung des Schornsteins treffen könnte; allein ein so gerichteter Wind muss zugleich an den offenen Theilen bei *C* und *D* eine so wirksame absolute Luftverdünnung verursachen, dass eine Störung für das Emporsteigen des Rauches nicht zu fürchten ist.

Fig. 129. Fig. 130.



Die überstehenden schrägen Leitschirme haben hauptsächlich den Zweck, den oberen Theil des Schornsteins von aussen trockner

zu erhalten; offenbar erhöhen sie auch die günstige Wirkung des Windes.

Die Verstreckung einer Seite des Windkessels und alle zur Ausführung des Apparates nöthigen Dimensionen sind für jeden speciellen Fall aus dem Durchschnitte leicht zu bestimmen.

Die horizontale Platte könnte wohl auch über dem Windkessel angebracht und alsdann grösser gefertigt werden; doch würde die Form des Apparates darunter leiden.

§. 128.

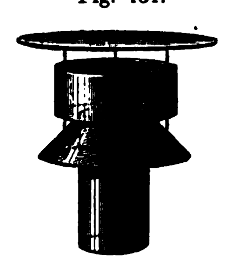
Der erste sogenannte Rauch- und Luftsauger.

Die Benennung Rauch- und Luftsauger wird gegenwärtig für Schornsteinaufsätze häufig gebraucht. In der vor dem Jahre 1868 erschienenen Litteratur ist sie noch nicht zu finden.

Es mag von allgemeinem Interesse sein, die Entstehung dieser Benennung zu erfahren, besonders weil sie einen Mann zum Urheber hat, welcher als Autorität in weiten Kreisen bekannt geworden ist: Grebenau.

Grebenau — leider schon im Juni 1877 als Wasserbau-Director in Strassburg gestorben — war bis zum Jahre 1872 Bauamtmann in Germersheim und Vorsitzender des Pfälzischen Kreisvereins des Bayerischen Architekten- und Ingenieur-Vereins. In einer Versammlung des Kreisvereins, am 24. Mai 1868 in Zweibrücken, zeigte ich ein Blechmodell des in Figur 131 dargestellten Schornstein-Aufsatzes vor, wies die Wirkung durch einige Experimente nach und stellte dann die Frage, ob man diesem Apparate nicht einen seine Leistung mehr bezeichnenden Namen geben könnte, als es die übrigen bekannten Namen der Schornsteinaufsätze seien.

Fig. 131.



Grebenau sprach sofort:

„Nennen Sie ihn Rauch- und Luftsauger."

Später wurde von Einigen diese Benennung als nicht passend bezeichnet, weil ein solcher Apparat keine saugende Wirkung habe, wenn der Wind fehle, dass also der Wind, nicht aber der Apparat der Sauger sei.

Nach solcher Auslegung wären jedoch ebenso auch andere unbeanstandet gebräuchliche technische Namen unpassend, so das Wort

Ventilator; es giebt keinen Ventilator, der aus sich selbst eine Wirkung hervorbringt, wenn der Motor fehlt.

Ueberdies sind die Namen Schornsteinaufsatz, Windkappe u. dgl. zu generell, bezeichnen den speciellen Zweck zu wenig, können sogar zu zweckwidrigen Verwechselungen Anlass geben, da man für Luftschächte auch Kappen benützt, durch welche der Wind Luft eintreiben soll. Wie man diese als Bläser, Presser, Pulsator benennt, mit demselben Rechte und mit zweckdienlicher Unterscheidung der entgegengesetzten Wirkung wird man den Namen Sauger beibehalten.

Ich erlaube mir beizufügen, dass es mir keineswegs darum zu thun war, durch eine reclamenhafte Benennung pecuniäre Vortheile zu erreichen. Die Apparate wurden damals einzeln nach Bedarf von diesem oder jenem Blechschmied oder Schlosser, nicht aber fabrikmässig ausgeführt. Ich hatte keinen Nutzen daran; im Gegentheil, für meine Ortsbesichtigungen, Aufnahmen, Zeichnungen u. s. w. bei diesen und anderen Heizungs- und Ventilationsangelegenheiten habe ich damals nirgends ein Honorar berechnet. Ich beschäftigte mich mit solchen Dingen noch aus reiner Liebhaberei, aus Interesse für die Sache, da ich die Ueberzeugung gewonnen hatte, dass auf diesem Gebiete bedeutende Verbesserungen nothwendig und möglich seien. Ich freute mich des Gewinns für meine Erfahrungen, wenn ich einen Hausbesitzer veranlassen konnte, auf meine Ideen einzugehen, mit anderen Worten: wenn ich auf fremde Kosten im Grossen experimentiren konnte.

Die Construction dieses in Fig. 131 dargestellten Apparates, der sich bei seiner Einfachheit von selbst erklärt, datirt aus dem Jahre 1860; ich habe ihn kurze Zeit nach dem Erscheinen der ersten Auflage dieses Buches in Holzminden und an anderen Orten angewandt, bald darauf Mittheilungen darüber in verschiedene Artikel eingeflochten, welche ich über Feuerungs- und Lüftungsanlagen verfasst habe. (Zeitschrift für Bauhandwerker, Vierteljahrsschrift von Prof. Dr. Artus, Hirzel's Hauslexikon u. s. w.)

Dessenungeachtet ist der Apparat wenig bekannt geworden und fast nirgends ohne mein Zuthun in Anwendung gekommen; er hat eben das Loos der unzähligen anderen Schornsteinaufsätze getheilt. —

§. 129.

Der zweite Wolpert'sche Rauch- und Luftsauger.

Als ich im Jahre 1868 mit Herrn F. Euler, Director des Eisenwerks Kaiserslautern, bekannt geworden war und dieser mich einmal beim Experimentiren mit Modellen von Schornstein-Aufsätzen antraf, erkannte er sofort mit fachmännischem Scharfblick, dass ein solcher Apparat werth sei, weiteste Verbreitung zu finden, wozu aber gleichmässig genaue, fabrikmässige Herstellungsweise gehöre, welche zu übernehmen er sich bereit erklärte.

Da für die gewöhnlichen Dimensionen die Ausführung in Gusseisen beabsichtigt wurde, konnte der Apparat leicht eine schönere und in mancher Beziehung zweckmässigere Form erhalten, als der nur in Eisenblech oder Zinkblech ausgeführte erste Rauch- und Luftsauger.

Auf diese Weise entstand der zweite Rauch- und Luftsauger, wie er durch die Figuren 132 und 133 in der Ansicht und im Verticalschnitt dargestellt ist. Dieser Sauger wurde mir in den meisten deutschen

Fig. 132. Fig. 133.



Staaten, sowie in Oesterreich-Ungarn und Frankreich patentirt. Trotzdem hat man ihn alsbald mit einigen Aenderungen und zwar Verschlechterungen nachgeahmt, und damit mag es zusammenhängen, dass er sich in manchen Büchern unrichtig dargestellt findet.

Dieses bezieht sich namentlich auf den im Innern des ausgeschweiften Theiles, im sogenannten Windkessel oder Saugkessel angebrachten horizontalen Ring, welcher weggelassen worden ist. Die Ansicht liegt nahe, dass der Ring für das Aufsteigen von Luft und Rauch

im Saugkessel ein Hemmniss bildet; aber dieser Ring ist durchaus nothwendig, weil sonst der abwärts geneigte Wind, welcher zwischen Deckplatte und Saugkessel eindringt, die gekrümmte Innenfläche verfolgt, dabei aber theilweise tangential diese verlassend in die Röhre gelangt.

Im Jahre 1869 hat Grebenau, welcher sich für die Sache sehr interessirte, zwei gusseiserne Sauger von ungefähr 10 Centimeter Röhrenweite bezogen und nach angestellten Beobachtungen darüber in folgender Weise berichtet:

„Von den beiden Wolpert'schen Rauch- und Luftsaugern wurde der eine auf den Küchenkamin der einstöckigen ärarealischen Dammwartswohnung in Maximiliansau aufgesetzt und bewährte sich hier vollkommen, indem das Rauchen in der Küche, welches durch Windstösse u. s. w. in dem niedern Kamin häufig erzeugt ward, seit dieser Zeit gänzlich vermieden ist.

Der andere wurde auf dem Rauchrohr des kleinen eisernen Oefchens in der Kajüte des Strombereisungsschiffes angebracht. Hier war vorher ein gewöhnlicher knieförmiger Kaminhut in Anwendung, welcher zeitweise durch Einrosten, jederzeit aber bei starkem Schwanken oder Schiefhängen des Schiffes seinen Dienst versagte, indem alsdann wegen der schiefen Stellung der Drehaxe eine Drehung nach dem Winde unmöglich und die Kajüte mit Rauch gefüllt wurde.

Diese Belästigung ist nun durch Anwendung des Rauch- und Luftsaugers gänzlich vermieden, indem nach den angestellten Versuchen und Probefahrten der Rauch bei jeder Windrichtung, bei jeder schiefen Lage und bei jeder Drehung des Schiffes vollständig abgeführt wird.

> Es kann daher die Anwendung des Wolpert'schen Rauch- und Luftsaugers sowohl auf Gebäude-Kamine, als besonders auch auf geheizte Schiffskajüten als höchst zweckmässig bestens empfohlen werden."

Nach ausführlicheren mündlichen Mittheilungen Grebenau's wurde auf dem Strombereisungsschiffe sogar versucht, mittels eines Blasbalgs, welcher schräg abwärts unter die Deckplatte gerichtet wurde, den Rauch zurückzutreiben oder doch sein Austreten zu hemmen, was aber nicht möglich war. Je stärker in den Sauger geblasen wurde, desto heftiger war der Zug im Ofen.

Gleich günstige Mittheilungen sind dem Eisenwerk sowie auch mir von vielen anderen Seiten zugegangen. Besonders wurde häufig hervorgehoben, dass umgekehrte Luftströmungen, Rückstösse, die vorher häufig vorkamen, niemals wieder beobachtet wurden. In einzelnen Mittheilungen

dagegen wurde die Verbesserung der betreffenden Schornsteine durch die angewandten Sauger zwar anerkannt, jedoch darüber geklagt, dass die Rückstösse nicht gänzlich beseitigt seien.

Solche Störungen sind zuweilen durch bauliche und Situationsverhältnisse veranlasst und können dann durch Schornsteinaufsätze irgend einer Construction nicht beseitigt werden. Hiervon wird im §. 132 weiter die Rede sein. Einzelne Misserfolge hätten mich demnach nicht zu einer Abänderung dieses Saugers veranlassen können. Aber für gewisse Umstände hat dieser Apparat formelle Mängel, nämlich:

Bei grossen Rohrweiten muss die Deckplatte so gross werden, dass der Guss mit geringer Dicke schwierig ist, viele Platten windschief werden oder sonst misslingen. Ferner ist die grosse Ausladung hinderlich, wo mehrere Schornsteine in geringen Entfernungen von einander mit solchen Saugern bekrönt werden sollen. Endlich hat sich in einigen Fällen, wo wegen der Situation der Wind nicht heftig genug durch den Apparat blasen konnte, auf dem horizontalen Ring und auf dem unteren Schirm oder Kragen so viel Russ abgelagert, dass die Zwischenräume zu stark verengt oder ganz verstopft wurden.

Aus diesen Gründen habe ich im Jahre 1875 den dritten Rauch- und Luftsauger construirt, von welchem der nächste Paragraph handelt.

§. 130.

Der neueste Wolpert'sche Rauch- und Luftsauger.

Dieser in Fig. 134 dargestellte Schornsteinaufsatz wird nach meinen Directiven ebenfalls nur von dem Eisenwerk Kaiserslautern angefertigt.

Da auch dieser Apparat bereits mit angeblichen Verbesserungen, die aber nur unnöthige Complicirtheiten und zweckwidrige Veränderungen sind, an einigen Orten nachgebildet wird, mag im Folgenden gezeigt werden, wie dessen Construction in einfachster Gestalt auf wissenschaftlicher Grundlage beruht, und dem Zwecke entspricht.

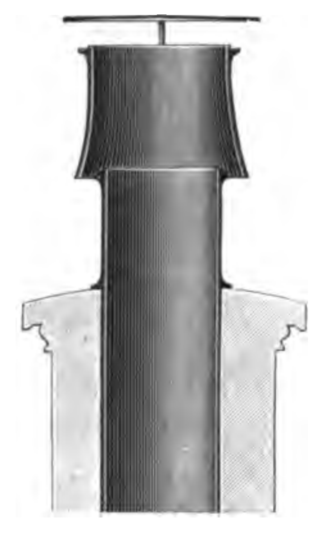
Es geht dieses zwar schon aus weiter oben gegebenen Erörterungen, namentlich aus den Untersuchungen und Beispielen über absolute Luftverdünnung (§. 71, 72, 73) hervor, doch werden selbst Wiederholungen hier gerechtfertigt sein.

Die Theorie dieses Rauch- und Luftsaugers gründet sich auf folgende Sätze:

Satz I. Ein Luftstrom, welcher durch eine ruhigere Luftmasse

oder an dieser vorüber streicht, reisst die dem Strom zunächst liegenden Lufttheilchen mit sich fort, veranlasst also eine Luftverdünnung in seiner Umgebung, eine secundäre Luftbewegung gegen den primären Luftstrom, ein Herbeifliessen der Luft aus grösserer Entfernung.

Fig. 134.



Beispiel: Bläst man mittels eines Blasbalgs oder mit dem Munde, wobei man sich eines engen Röhrchens, einer Federspule bedienen kann, neben einer Flamme vorbei, so neigt sich die Flamme gegen den Luftstrom. (Fig. 135.)

Satz II. Stösst ein Luftstrom unter irgend einem Winkel gegen eine feste Fläche, so wird er keineswegs reflectirt, sondern verfolgt die Richtung der Fläche, breitet sich an dieser aus und wirkt hiebei, sowie an den nicht vom directen Strome getroffenen Oeffnungen und Endkanten der Fläche saugend wie der directe Luftstrom bei Satz I. Man kann aber hier einige Specialfälle unterscheiden, als:

a) Die Fläche ist eben und bildet die dem Luftstrom zugekehrte Begrenzung einer dünnen Platte; dann verlässt der Luftstrom die Platte in der Richtung der ersten Fläche und saugt die hinter der Platte befindliche Luft an sich.

Fig. 135.

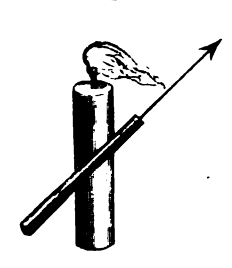
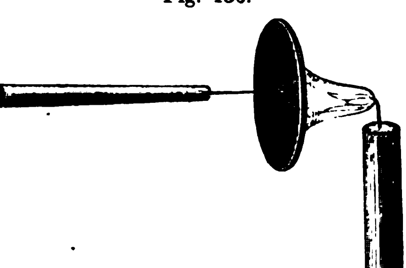


Fig. 136.

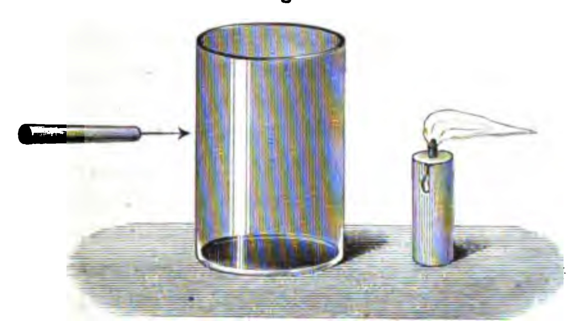


Beispiel: Hält man zwischen eine Kerzenflamme und den gegen diese gerichteten Luftstrom einen flachen Gegenstand, etwa eine Münze, so richtet sich die Flamme gegen die Rückseite dieses Körpers. (Fig. 136.)

b) Aehnlich ist es bei dickeren Körpern mit rechten oder spitzen Kantenwinkeln, sowie bei einer dem Luftstrom zugekehrten hohlen Krümmung.

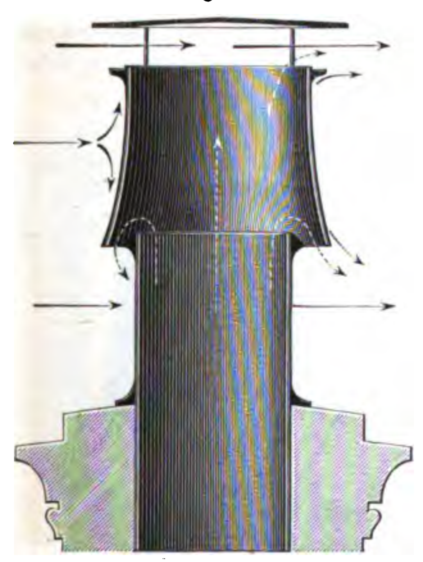
c) Ist die Fläche nach stumpfen Winkeln oder stetig gekrümmt und der Luftstrom trifft die convexe Seite, so verlassen einige Theile des Luftstroms die Fläche nach den Richtungen der Tangenten, der grösste Theil des Luftstroms aber verfolgt die Krümmung weiter bis zu den Endkanten oder scharfen Umbiegungen, bei geschlossener Krümmung bis zur Begegnung und Vereinigung mit dem die entgegengesetzte Richtung verfolgenden Theile des Luftstroms.

Fig. 137.



Beispiel: Bläst man gegen die krumme Fläche eines Cylinders, etwa gegen ein gewöhnliches Trinkglas, so wird die Flamme einer auf der anderen Seite stehenden Kerze abgelenkt, sogar ausgeblasen, als wenn man direct durch den Cylinder blasen könnte. (Fig. 137.)

Fig. 138.



Die Einwirkungen des Windes bei dem Rauch- und Luftsauger ergeben sich hiernach wie folgt:

1. (Fig. 138.) Der Wind sei horizontal. Der zwischen der Platte und dem Saugkessel (mittlerer Theil) durchströmende Wind reisst Luft aus dem Saugkessel an sich, bewirkt also Luftverdünnung daselbst.

Der gegen die äussere Saugkesselwand stossende Wind geht nach beiden Richtungen um die doppelt gekrümmte Fläche und reisst, dieselbe verlassend, sowohl oben wie unten die in der Nähe des Kesselrandes befindlichen Lufttheilchen mit sich fort, wodurch die Luftverdünnung vermehrt wird. Der unterhalb des Saugkessels hinfliessende Wind wirkt ebenfalls saugend.

2. (Fig. 139.) Der schräg von unten nach oben gerichtete Wind wirkt saugend, indem er theils unter der Platte, theils von der unteren Ringöffnung her durch den Apparat strömt. Es wäre aber nachtheilig, wenn eine zu grosse Luftmenge in den Saugkessel und unter die Platte strömen könnte, da eine Stauung erfolgen würde. Desswegen sind die ringförmigen Ansätze angebracht, deren richtiges Grössenverhältniss sehr wesentlich ist. Aus demselben Grunde darf auch die Platte nicht zu gross sein.

3. (Fig. 140). Ist der Wind mit geringer Neigung abwärts gerichtet, so wirken saugend: der die Deckplatte verlassende Wind, der auf dem Ringe des Saugkessels horizontal gelenkte Wind, der durch den Saugkessel gelangende und der um den Saugkessel gleitende Wind.

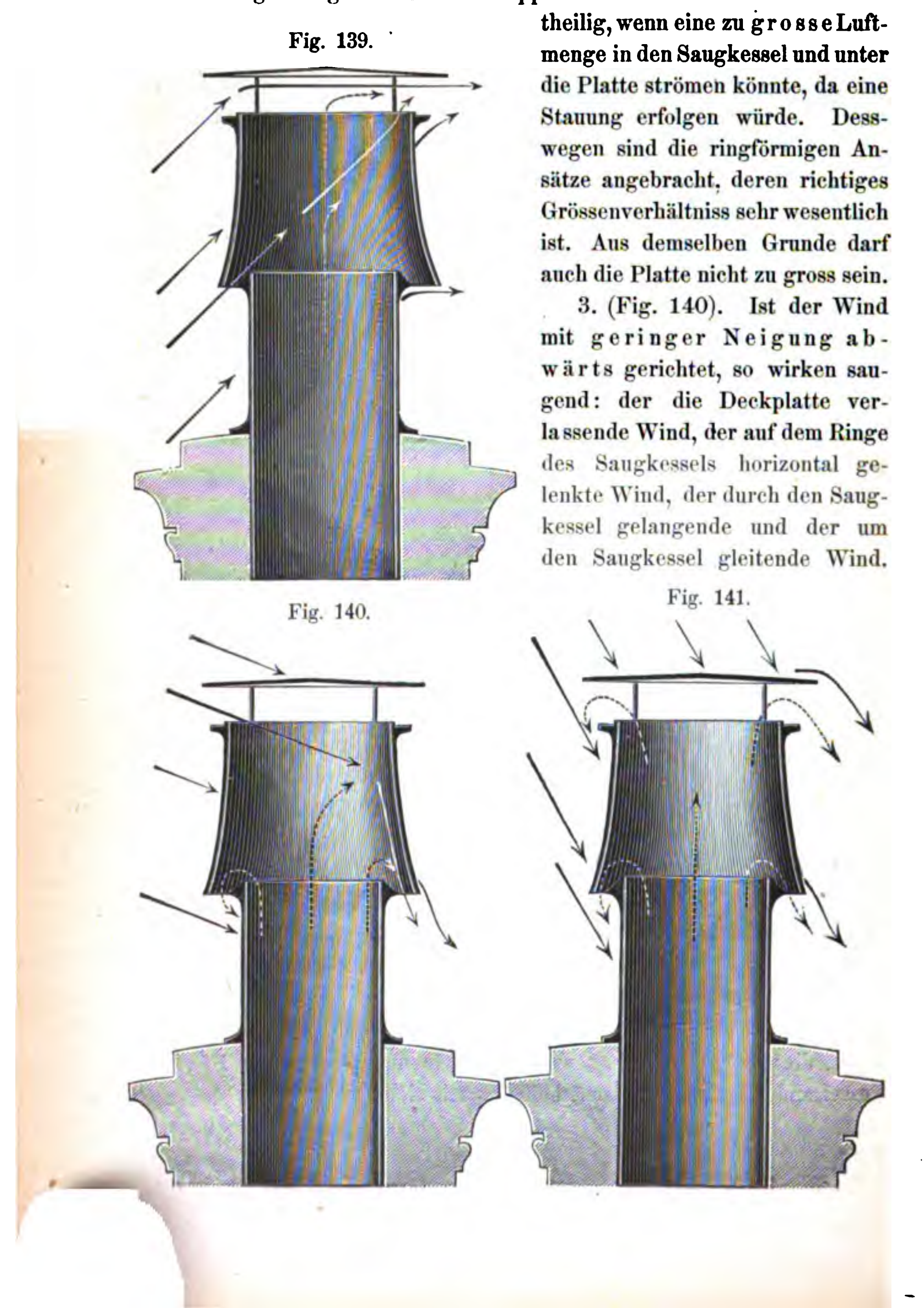


Fig. 139.

Fig. 140.

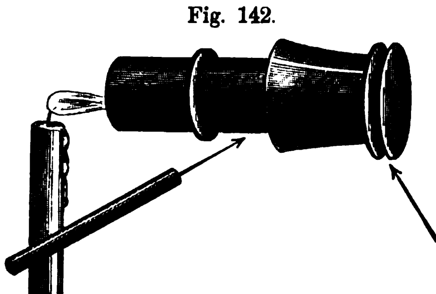
Fig. 141.

4. (Fig. 141.) Der stark abwärts geneigte Wind saugt bedeutend unter der Platte und unten am Saugkessel.

5. Dass auch die bei gewissen Situationsverhältnissen vorkommenden vertical aufwärts und abwärts gerichteten Windstösse saugend wirken, ist aus Obigem ebenfalls leicht zu erkennen.

Experimentell überzeugt man sich von der Richtigkeit vorstehender Erklärungen dadurch, dass man in einen kleinen Sauger, an dessen freies Röhrenende man eine Flamme bringt, nach irgend einer Richtung bläst; die Flamme wird immer in die Röhre gesaugt. (Fig. 142.)

Fig. 142.



Noch anschaulicher für die Vorstellung eines Schornsteins und einer Feuerung ist dieses Experiment, wenn man sich einer gebogenen Röhre bedient (Fig. 143), die man noch beliebig in verticaler, schräger oder horizontaler Richtung durch Ansatzstücke verlängern kann.

Fig. 143.



Ebenso wie im Winde verhält sich der Sauger bei relativer Luftbewegung überhaupt; die Wirkung ist dieselbe, mag der Apparat einem Winde von 10 Meter secundlicher Geschwindigkeit ausgesetzt sein oder mit 10 Meter Geschwindigkeit in ruhiger Luft vorwärts bewegt werden.

Dieser Umstand ist namentlich für die Ventilation von Eisenbahnwagen von grosser Wichtigkeit und es sind bereits von wissenschaftlichen Commissionen zuerst in Ludwigshafen a. Rh., dann in München und anderen Orten sehr befriedigende Versuche gemacht.

Der Rauch- und Luftsauger bietet ferner noch folgende Vortheile:

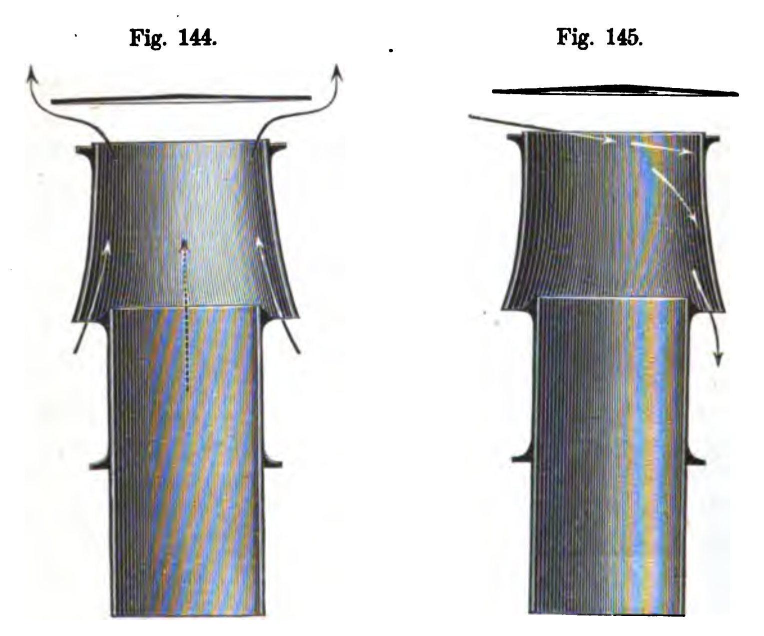
Er verhindert das Einscheinen der Sonne in die Röhre, beseitigt demnach die bei

Sonnenschein durch einseitige ungleiche Erwärmung oft vorkommenden Störungen des Zugs bei Schornsteinen.

Ueberdies wird das getheerte schwarze Eisen durch die Sonnenstrahlen bedeutend erwärmt, und dieses befördert die aufwärts gerichtete Luftbewegung (Fig. 144).

Dass endlich auch der Regen nicht in die Röhre gelangen kann ist von grosser Wichtigkeit, weil bei Laternen durch Regentropfen die Flamme ausgelöscht werden könnte, bei Schornsteinen u. dgl. aber nicht nur das herabfliessende Wasser Verunreinigungen verursachen würde, sondern auch durch die Verdunstungs-Kälte die günstige Temperaturdifferenz bedeutend vermindert, unter Umständen sogar negativ

Fig. 144. Fig. 145.



werden könnte. Das schräge Eindringen der Regentropfen zwischen der Platte und dem Saugkessel kommt nur bei starkem Winde vor, und dann gelangen die Regentropfen in Folge der Inertie an die anderseitige Saugkesselwand, wo das Wasser unten abfliesst. (Fig. 145.)

Wie im Obigen die Wirkungen des Rauch- und Luftsaugers mehr theoretisch und qualitativ nachgewiesen sind, so mögen sie im Folgenden auch praktisch und quantitativ nachgewiesen werden.

§. 131.

Absoluter Nutzeffect der Wolpert'schen Rauch- und Luftsauger und einfacher Röhren.

Um den absoluten Nutzeffect solcher Apparate zu ermitteln, habe ich in der Schmiede der Waggonfabrik Ludwigshafen am Rhein gemeinsam mit dem technischen Director dieser Fabrik, Herrn Rudolf Schmidt, Experimente angestellt, welche hier mitgetheilt werden mögen.

Versuche am 5. April 1877.

An der Versuchsstelle zeigte das

Barometer 750,5 Millimeter Quecksilberhöhe,
Thermometer 18° C.,
Hygrometer 60 Procent der Sättigung.

Die Spannung des Wasserdampfes in der Luft bei 18° C. und 60 Proc. Sättigung berechnet sich auf 9,216 Millimeter Quecksilberhöhe.

Unter diesen Umständen ist die dem Druck einer Wassersäule von h Millimeter Höhe entsprechende Luftgeschwindigkeit

$$c = \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot 1000 \cdot h(1 + 0{,}003665 \cdot 18)\, 760}{0{,}001293\, (750{,}5 - 0{,}3775 \cdot 9{,}216)}} \text{ Millimeter}$$

$c = (4056{,}61\, \sqrt{h})$ Millimeter, oder

$c = (4{,}057\, \sqrt{h})$ Meter pro Secunde,

wobei h in Millimetern anzugeben bleibt.

Als Motor zur Erzeugung grosser Windstärken stand ein Centrifugalventilator zur Verfügung, welcher etwa 1500 Umdrehungen in der Minute machen kann.

Der Gebläsestrom kam vertical aufwärts aus einer 10 Centimeter weiten Röhrenöffnung 54 Centimeter über dem Fussboden. Eine Drosselklappe am Fussboden ermöglichte die Verminderung der Stromstärke bei gleicher Entfernung von der Oeffnung. Ausserdem wurde auch bei vollem Strom die geringere Stärke in grösserer Entfernung benützt.

Um die Geschwindigkeit des Gebläsestroms in den Versuchshöhen direct zu messen, hatte ich mir ein statisches Anemometer der in §. 90 beschriebenen Construction für Messung von Luftgeschwindigkeiten von 1 bis 54 Meter pro Secunde vorbereitet. Die Anemometerangaben stimmten sehr gut mit den Geschwindigkeiten überein, welche aus den Ablesungen an einem Wassermanometer berechnet wurden. Dieses Manometer war mittels eines Gummischlauches mit einer in die Windrichtung gehaltenen gebogenen und vorne zugeschärften Eisenröhre von 3 Centimeter Durchmesser verbunden.

Ein zweites Wassermanometer diente zur Ermittelung der Saugwirkungen des Gebläsewindes. Es war nämlich mit einem möglichst dicht ausgeführten innen und aussen mit Oelfarbe angestrichenen, mit einem Rohransatz versehenen hölzernen Kasten verbunden, an welchem die verschiedenen zu prüfenden Apparate mittels entsprechender Zwischenstücke aufgesteckt wurden. Bei der Schwierigkeit, solche Vorrichtungen luftdicht herzustellen, ergaben sich die Saugwirkungen eher zu gering als zu gross.

Die verschiedenen zu prüfenden Mündungsvorrichtungen wurden nicht unmittelbar über der Gebläseöffnung angebracht, sondern in Höhen von $^1/_{10}$ bis 1 Meter darüber, weil so die feste Lage derselben besser erreicht werden konnte und dann auch die Dichtigkeit der strömenden Luft gleich jener der Luft des Raumes anzunehmen war, also dieselbe Berechnungsformel sowohl für den Gebläsewind, als auch für die Saugwirkung beibehalten werden konnte.

Zunächst wurde gefunden, dass die saugende Wirkung des sehr starken Gebläsewindes, welcher in geringer Höhe über der Oeffnung einen Manometerstand von 70 Millimeter Wasserhöhe bewirkte, also daselbst eine Geschwindigkeit von $4{,}057 \sqrt{70} = 33{,}957$ oder rund 34 Meter pro Secunde hatte, in der freien Umgebung doch nur eine so geringe secundäre Luftströmung veranlasste, dass diese schon in geringer Entfernung vom primären Luftstrom mittels des Anemometers und Manometers kaum überhaupt nachgewiesen, viel weniger gemessen werden konnte.

Auch die Saugwirkungen an einer im Strome befindlichen, mit der Mündung hinter dem Winde liegenden Röhre von 3 Centimeter Durchmesser waren noch sehr gering.

In verschiedenen Höhen über der Gebläseöffnung ergaben sich die

Stromgeschwindigkeiten:	26,8 Meter	23,2 Meter	16,0 Meter
Saugwirkungen:	8,0 „	5,6 „	3,0 „
Nutzeffecte:	29,8 Proc.	24,1 Proc.	18,8 Proc.

Da hiernach die procentische Saugwirkung oder der Nutzeffect mit der geringeren Geschwindigkeit bedeutend abnimmt, ist in der That auch bei Röhren mit hinter dem Wind liegenden Oeffnungen bei mittleren oder gar geringen Windstärken nur verhältnissmässig wenig Nutzeffect zu erwarten.

Bei diesen Versuchen war der erwähnte hölzerne Kasten zwischen Saugröhre und Manometer eingeschaltet. Ob diese Einrichtung ohne Einfluss auf das Resultat war, musste festgestellt werden. Es ergaben sich aber bei diesen und anderen Saugapparaten dieselben Manometerstände, wenn der Manometerschlauch am Kasten angebracht war, oder mittels möglichst kurzer Röhrenstücke an den Saugröhren.

Damit war zugleich die genügende Dichtigkeit des Kastens erwiesen, sowie der Umstand, dass es möglich ist, in einem grösseren Raume mittels der saugenden Wirkung des Windes eine Luftverdünnung zu erhalten.

Welchen Einfluss auf die Luftverdünnung undichter Schluss haben kann, wurde auf folgende Weise untersucht:

Der Kasten hatte an einer Langseite ein kreisförmiges, mittels eines Korkstöpsels schliessbares Loch von 17 Millimeter Durchmesser. (Querschnittsfläche 227 Quadratmillimeter, mit Rücksicht auf Contraction ungefähr 180 Quadratmillimeter eigentliche Durchflussöffnung).

Es wurden einfache Blechröhren am Kasten angesteckt und zwar von 40 Millimeter Durchmesser, d. i. 1257 Quadratmillimeter Querschnitt und 20 „ „ „ „ 314 „ „

Nun waren bei einer Stromgeschwindigkeit von 12 Meter pro Secunde die dem Manometerstande oder der noch vorhandenen Luftverdünnung im Kasten entsprechenden Saugwirkungen der Reihe nach folgende:

Röhre	40	Millimeter,	Loch	geschlossen	10,4	Meter,	d. i.	86,6	Proc.
„	40	„	„	offen	8,8	„	„ „	73,3	„
„	20	„	„	geschlossen	10,4	„	„ „	86,6	„
„	20	„	„	offen	5,6	„	„ „	46,6	„

Hieraus ist ersichtlich:

1) dass in einem auch nicht absolut dicht geschlossenen Raume eine Luftverdünnung durch die saugende Wirkung des Windes entstehen kann;

2) dass die Saugwirkung an der einfachen Oeffnung der rechtwinkelig der Windrichtung ausgesetzten Röhre bedeutend ist.

Danach wäre, wie ich schon früher an anderen Stellen hervorgehoben habe, die einfache horizontale Endigung einer verticalen Röhre eine sehr gute Saugvorrichtung, wenn der Wind immer horizontal oder mit geringer Schrägung von unten nach oben gerichtet wäre. Die häufig vorkommenden und immer misslichen Windrichtungen von oben nach unten, neben der Unannehmlichkeit des Einregnens, rechtfertigen die Construction anderer Vorrichtungen, selbst wenn diese unter manchen Umständen weniger Nutzeffect bieten.

Auch die beiden für Laternen und Kamine nach meinen Directiven von dem Eisenwerk Kaiserslautern ausgeführten, zuweilen kurz als Wolpert-Sauger bezeichneten Arten von Röhrenaufsätzen geben weniger Nutzeffect als die einfache Röhrenmündung bei günstiger Windrichtung, und namentlich die Rauch- und Luftsauger meiner älteren Construction geben verhältnissmässig wenig Nutzeffect.

Bei den in der folgenden Tabelle zusammengestellten Versuchen waren die Röhrenaxen immer möglichst rechtwinkelig gegen den Gebläsewind gerichtet, was bei verticaler Röhrenstellung dem horizontalen Winde entspricht. Die Resultate machen keinen Anspruch auf mathematische Genauigkeit; denn das Gebläse, zugleich für mehrere Schmiedefeuer benützt, wirkte nicht ganz gleichmässig, und auch die Einstellung der Apparate, rechtwinkelig auf die Mitte des Gebläsestroms, mochte nicht immer mit gleicher Genauigkeit geschehen sein. Dessenungeachtet werden diese Resultate zu lehrreichen und praktischen Folgerungen berechtigen.

Saugwirkungen mit einfachen Röhrenöffnungen und Wolpert-Saugern neuer und alter Construction von 20 bis 100 Millimeter Röhrenweite bei verticaler Röhrenstellung und horizontalem Winde von 8 bis 31 Meter Geschwindigkeit.

Saugapparat und Röhrendurchmesser.	Millimeter	Windstärke Meter p. S.				Saugwirkung Meter p. S.				Nutzeffect in Procenten einzeln				im Mittel
Röhrenöffnung	20	31	17,6	12	8	22	12,4	10,4	5,6	71	70,4	86,6	70	72
Neuer Sauger	20	31	17,6	12	8	16	9,6	6,8	4,8	51,6	54,5	56,6	60	55,7
Alter Sauger	20	31	17,6	12	8	14,4	6,8	4,8	4	46,4	38,6	40	50	43,7
Röhrenöffnung	40	31	18,4	12	8	23,6	12,4	10,4	5,6	76,1	67,4	86,6	70	75
Neuer Sauger	40	31	18,4	12	8	17,6	8,8	6,8	4,8	56,8	47,8	56,6	60	55,3
Alter Sauger	40	31	18,4	12	8	11,2	7,4	4,8	4	36,1	40,2	40	50	40,3
Röhrenöffnung	60	31	17,6	12	8	17,6	9,6	8,8	4,8	56,8	54,5	73,3	60	61,1
Neuer Sauger	60	31	17,6	12	8	15,2	8	6,8	4	49	45,4	56,6	50	50,2
Alter Sauger	60	31	17,6	12	8	6,8	4,8	4	3	21,9	27,3	33,3	37,5	30
Röhrenöffnung	92		28,3	12		16,8		8,8			59,3	73,3		66,3
Neuer Sauger	100		28,3	12		10,4		6,8			36,7	56,6		46,6
Alter Sauger	100		26,8	12		6,8		4			25,3	33,3		29,3

Andere Zusammenstellung der Nutzeffecte.

Saugapparate von 20 bis 100 Millimeter Röhrenweite	Mittlere Nutzeffecte in Procenten nach obiger Tabelle				im Durchschnitt
Einfache Röhrenöffnung . . .	72	75	61,1	66,3	68,6
Neuer Sauger	55,7	55,3	50,2	46,6	51,9
Alter Sauger	43,7	40,3	30,0	29,3	35,8

Danach beträgt die Saugwirkung bei horizontalem Wind durchschnittlich:

für die einfache Röhre über $^{2}/_{3}$ der Windstärke
„ den neuen Wolpert-Sauger „ $^{1}/_{2}$ „ „
„ „ alten „ „ $^{1}/_{3}$ „ „

Es fragt sich nun, wie die Sauger bei anderen als horizontalen Windrichtungen wirken.

Um dieses experimentell zu untersuchen, waren verschiedene Vorrichtungen nothwendig, deren Fertigstellung ich nicht abwarten konnte. Ich ersuchte desshalb Herrn Director Schmidt, nach entsprechenden Vorbereitungen die weiteren Versuche anzustellen, und ich verdanke ihm die Angaben für die folgende Tabelle.

Saugwirkungen mit Wolpert-Saugern von 40 Millimeter Röhrenweite neuer und alter Construction bei verschiedenen Windrichtungen.

Saugapparat	Wind-richtung	Windstärke Meter p. S.	Saugwirkung Meter p. S.	Nutzeffect in Procenten		
				einzeln	im Mittel	Mittel-durch-schnitt
Fig. 146.	horizontal	34,8 17,6 12,4	18,4 9,6 6,8	52,8 54,5 54,8	54	
	30° von oben	31,6 17,6 12,4	22,6 12,4 8	65,3 70,4 64,5	66,7	
	60 von oben	33,5 17,6 12,4	22 12,4 8,8	65,6 70,4 70,9	68,9	
	90 von oben	33,5 18 10,4	17,6 10,4 6,8	52,6 57,7 65,3	58,5	51,5 } 40,7
	30 von unten	33,5 16,8 12	14,4 6,8 3	42,9 40,5 25	36,1	
	60 von unten	32,9 16,8 12	4,8 9,6 0	14,6 57,1 0	23,9	
Neuer Sauger.	90 von unten	32,4 16,8 12	— 14,8 — 4 0	— 45,6 — 23,8 0	— 23,1	
Fig. 147.	horizontal	30,4 15,2	13,2 5,6	43,4 36,8	40,1	
	30° von oben	29,4 14,8	15,2 5,6	51,7 37,8	44,7	
	60 von oben	31 15,2	14,4 5,6	46,4 36,8	41,6	
	90 von oben	31 15,2	4,8 4	15,5 26,3	20,9	34,5 } 32,5
	30 von unten	32,2 14,4	10,4 3	32,3 20,8	26,5	
	60 von unten	33,5 14,8	12,4 4,4	37 29,7	33,3	
Alter Sauger.	90 von unten	33,5 14,8	6,8 3	20,3 20,3	20,3	

Die Versuche wurden am 13. Mai 1877 angestellt und zwar nur mit den Saugern von 40 Millimeter Röhrendurchmesser, was ich nach den vorausgegangenen Versuchen für genügend hielt. Die einfachen Röhrenöffnungen konnten ausgeschlossen bleiben, weil deren zweckwidrige Wirkung bei schrägem Oberwind nicht fraglich ist.

Die für Berechnung der Geschwindigkeitsformel nothwendigen Aufzeichnungen waren:

Barometerstand . .	755,5 Millimeter
Temperatur . . .	17° C.
Relative Feuchtigkeit	62 Procent.

Die Spannung des Wasserdampfs bei 17° C. und 62 Procent Sättigung ist 8,9404 Millimeter.

Die secundliche Luftgeschwindigkeit wird folglich:

$$c = \sqrt{\frac{2 \;.\; 9{,}81 \;.\; 1000\,(1 + 0{,}003665 \;.\; 17)\,760 \;.\; h}{0{,}001293\,(755{,}5 - 0{,}3775 \;.\; 8{,}9404)}}$$

$$c = (4{,}036\,\sqrt{h}) \text{ Meter pro Secunde,}$$

wobei h in Millimetern einzuführen ist.

Die Tabelle S. 391 lässt Folgendes erkennen:

1) Beide Sauger wirken am besten bei schrägem Oberwind.

2) Der neue Sauger wirkt gar nicht oder sogar in verkehrter Weise, wenn der Unterwind nahezu vertical ist. Dieses ist aber dem Umstande zuzuschreiben, dass bei dem Versuchssauger die horizontale Ringplatte unterhalb des Saugkessels fehlte, der Wind also in abnormer Weise unten eindringen und sich darin stauen musste. In der Anwendung ist nicht nur jene Ringplatte vorhanden, sondern es kommt auch der Wind nicht leicht nahezu vertical von unten nach oben, so dass dieses ungünstige Ergebniss ausser Acht gelassen werden darf.

3) Wenn man die vertical aufwärts gehende Windrichtung ausser Rechnung lässt, ist der durchschnittliche Nutzeffect für alle Windrichtungen, wie auch bei der horizontalen Windrichtung oben gefunden worden ist, für den neuen Sauger über $\frac{1}{2}$ der Windstärke, für den alten über $\frac{1}{3}$; mit Einrechnumg des verticalen Unterwindes war bei dem unvollkommenen neuen Sauger der durchschnittliche Nutzeffect immer noch 40,7 Procent, bei dem alten 32,4 Procent.

Jenes ungünstige Resultat bei fehlender Ringplatte war von mir vorher vermuthet und ist in so fern erwünscht, als es zeigt, wie wichtig es ist, zu verhüten, dass der Wind bei irgend einer Richtung in allzu grosser Menge in den Apparat gelangt.

§. 132.

Schlussbemerkungen über Saugkappen.

Nach den obigen Untersuchungen und Zahlenergebnissen ist man zu der Behauptung berechtigt, dass, obgleich der Wind ein unbestän-

diger Motor ist, die Anwendung gut construirter Röhrenaufsätze nicht nur zum Schutze gegen ungünstige atmosphärische Einwirkungen bei Ventilations- und Feuerungsanlagen und Laternen, sondern auch zur Verbesserung des Zugs zu empfehlen ist, und dass dieses namentlich für den zuletzt dargestellten einfachen Rauch- und Luftsauger gilt.

Dieser bietet offenen Röhren und vielen anderen Schornsteinaufsätzen gegenüber unstreitig folgende Vortheile:

1) Die bei oben offenen oder nicht zweckmässig gedeckten Schornsteinen zuweilen in Folge des Einscheinens der Sonne auftretenden Störungen werden durch den Sauger vermieden; es wird überdies durch die gleichmässige Erwärmung des eisernen Apparates die aufwärtsgehende Luftströmung im Schornstein begünstigt.

2) Regen kann nicht in die Röhre gelangen. Dieses ist nicht nur bei Laternen von Wichtigkeit, wo durch Regentropfen die Flamme ausgelöscht werden könnte, sondern auch für Schornsteine und Ventilationsröhren, theils desshalb, weil das Herabrinnen des Regenwassers oft mit Unannehmlichkeiten verknüpft ist, mehr noch aber, weil die mit der Temperaturerniedrigung bei der Verdunstung entstehende Vergrösserung des specifischen Gewichts der Luft bedeutender ist als die durch Aufnahme des Wasserdampfes und entsprechende Volumvergrösserung erfolgende Verminderung des specifischen Gewichts der Luft.

3) Es ist keine Windrichtung denkbar, bei welcher der Wind die Mündung der Steigröhre treffen kann.

4) Die Construction ist der Art, dass der um und durch den Sauger strömende Wind die Luft aus der Steigröhre an sich reissen muss.

5) Die Dimensionen der einzelnen Theile sind so berechnet, dass dem Rauche, beziehungsweise der abzuführenden Luft, reichlicher Ausflussquerschnitt gegeben ist und doch der Wind nicht in solcher Menge in den Apparat gelangen kann, dass er daselbst eine Rückstauung veranlassen würde.

Man möchte sogar geneigt sein, die Leistung dieses Saugers zu überschätzen. Ich halte es desshalb für meine Pflicht, auch auf die Unvollkommenheiten aller solcher Apparate aufmerksam zu machen.

Die Möglichkeit, eine regelmässige Ventilation von bestimmter Grösse damit allein zu erreichen, bleibt selbst bei der denkbar höchsten Verbesserung derselben ausgeschlossen, und auch die beste Saugkappe ist kein Universalmittel gegen das lästige Rauchen der Oefen.

Die im Zimmer angestellten Experimente führen leicht zu der

Meinung, dass ein guter Luftsauger, weil er bei dem Blasen in jeder Richtung saugende Wirkung zeigt, auch tief unter Dachfirsten, sogar mit horizontaler Achse an Mauern angebracht, bei jedem Winde gut wirken müsse. Allein dieses ist keineswegs richtig. Die Verdichtung der Luft im Freien um den Sauger herum überwiegt bei solcher Lage oft die saugende Wirkung der bewegten Luft und bei anderen Windrichtungen ist der Sauger der bewegten Luft zu wenig ausgesetzt.

Auch bei Saugern, die über Dachflächen angebracht waren, habe ich zuweilen Rückstösse beobachtet und mir von deren Ursachen folgende Erklärungen gebildet:

1) Da ein an einer relativ ruhigen Luftmasse vorbeistreichender Luftstrom viele Theilchen der ruhigeren Luft an sich reisst, dadurch eine Luftverdünnung in der Umgebung und eine secundäre Luftbewegung gegen den primären Luftstrom veranlasst, kann es vorkommen, dass der Wind an den Oeffnungen eines umschlossenen Raumes, — nicht nur an den offenen oder schlecht geschlossenen Thüren und Fenstern, sondern sogar an den Poren der Wände, — stärker saugt als an dem Luftsauger, dass also die Luft in einem Schornstein, in einem Ventilationsschacht, mit überwiegender Intensität herabgesaugt wird. Bei Westwind beispielsweise wird an einem freistehenden Hause die Luft auf der Westseite gestaut, verdichtet, auf der Ost-, Süd- und Nordseite aber zum Theil weggerissen, im Ganzen verdünnt. Alle Oeffnungen an diesen drei Seiten sind dann für den Sauger ungünstig.

2) Es können Luftstauungen rings um den Sauger vorkommen. Dieses ist oft über Dachflächen der Fall und zwar um so mehr, je steiler die Dächer sind; noch mehr, wenn sie von nahestehenden höheren Mauern u. dgl. überragt werden. Gegen das Eindringen der gestauten, gepressten Luft in den Schornstein kann da kein Schornsteinaufsatz schützen. Man thut also gut daran, sich auch bei Anwendung der besten Schornsteinaufsätze an die alte Regel zu halten, die Schornsteine über Firsthöhe, beziehungsweise über die nahestehenden höheren Gegenstände emporzuführen. Bei Ventilationsröhren sind seltene Rückströmungen in der Regel nicht von Bedeutung.

3) Es kann vorkommen, dass auch ohne solche durch nahe hohe Gegenstände veranlasste Stauung bei der aussen wie innen mit Wellenbewegungen, Verdichtung und Verdünnung verknüpften Luftbewegung momentan eine äussere Luftverdichtung mit einer inneren Luftverdünnung, ein äusserer Wellenberg mit einem inneren Wellenthal zusammentrifft. Bei den anemometrischen Beobachtungen, welche ich im Laufe des letzten Jahres gemeinsam mit Herrn Rector Dr. Recknagel auf dem

Dachboden der Industrieschule anstellte, ist es vorgekommen, dass bei starkem, lange Zeit hindurch heftig saugendem Winde durch eine über die First hinausgesteckte mit einem drehbaren Trichter, sogenannten Wolfsrachen, bekrönte Röhre plötzlich ein Luftstoss herabgelangte, obgleich die Mündung dieser Vorrichtung ganz richtig vom Winde abgewendet stand und weder eine Luftstauung an der Dachfläche oder sonst in der Nähe einwirken konnte, noch ein Wirbelwind anzunehmen war.

Rückströmungen in Schornsteinen und Ventilationsröhren können also auch bei Anwendung von Rauch- und Luftsaugern vorkommen. Dessenungeachtet sind diese Vorrichtungen nicht als nutzlos zu bezeichnen. Sie befördern doch im Ganzen die Luftströmung in der bezweckten Richtung und vermindern die Zahl und Mächtigkeit der Rückstösse; sie leisten das, wo die Situationsverhältnisse und Temperaturdifferenzen nicht allzu ungünstig sind, in solchem Grade, dass umgekehrte Strömungen höchst selten vorkommen und das Uebel des Einrauchens in den meisten Fällen beseitigt wird. Ich kann viele Fälle nachweisen, in welchen durch Rauchsauger, welche sogar weit unter Firsthöhe angebracht sind oder von nahen hohen Mauern überragt werden, das Rauchen beseitigt ist.

Dieses aber mittels irgend eines Schornsteinaufsatzes in allen Fällen sicher zu erreichen, ist, wie aus Obigem begreiflich, ein Ding der Unmöglichkeit.

§. 133.

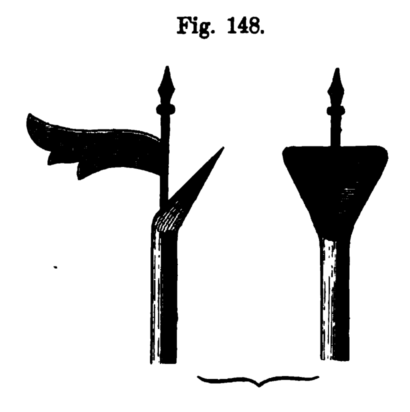
Ventilation durch die pressende Wirkung des Windes. Verschiedene Luftfänger.

Ist die Mündung einer Röhre gegen den Wind gekehrt, so fliesst eine bestimmte Luftmenge in die Röhre und presst je nach der Geschwindigkeit des Windes die daselbst vorhandene Luft, so dass dieselbe durch die Röhre fliesst, vorausgesetzt, dass das untere Ende der Röhre nicht geschlossen, auch nicht mit einem dicht geschlossenen Raume in Verbindung gesetzt ist, und dass nicht von einer anderen Seite her auf die Luft des Raumes eine ebenso grosse oder noch grössere Pressung ausgeübt wird.

In diesen letzteren Fällen würde das Einfliessen der Luft nach dem Raume aufhören müssen, sobald die durch den Zufluss verdichtete Luft des Raumes eine so grosse Spannkraft erlangt hat, dass sie der äusseren Pressung gleichen Widerstand entgegensetzt.

Ein sehr einfacher Apparat, äussere Luft mittels der pressenden Wirkung des Windes einem Raume zuzuführen, ist der bereits oben durch Fig. 118 dargestellte Apparat, sobald nur die Windfahne in umgekehrter Richtung angebracht wird. Geeigneter für den gegenwärtigen Zweck wird derselbe noch, wenn die vom Rande der Mündung von unten nach oben hin gegen die Röhre gehende Krümmung gänzlich wegbleibt, damit der Luftstrom, der ja nur abwärts geführt werden soll, nicht durch eine Gegenwirkung geschwächt wird (Fig. 148). Den oberen Rand sehr weit dem Winde entgegen vorspringen zu lassen, ist nicht nothwendig, man hätte denn die Absicht, den Regen aus der Röhre abzuhalten. Eine bedeutende Höhe der Oeffnung, sowie eine ziemliche Erweiterung nach den Seiten ist sehr zweckmässig, indem die Menge der eingepressten, also dem Raume zugeführten Luft dem Quadratinhalte der dem Winde zugekehrten Mündungsfläche fast direct proportional ist.

Fig. 148.

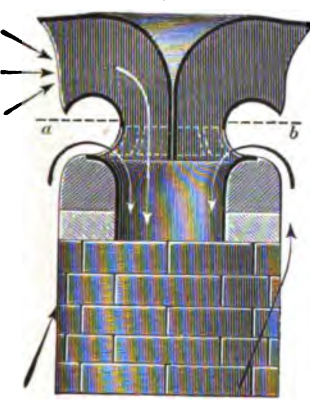


Vollständig feste Apparate zu erfinden, welche bei jeder Windrichtung nur Compression der Luft (ohne zugleich eine Schwächung durch absolute Luftverdünnung zu dulden) in einer und derselben ungetheilten Röhre bewirken, dürfte eine sehr schwierige Aufgabe sein. Wollte man z. B., was ziemlich nahe liegt, den in Fig. 121 angegebenen Saugapparat in einen Druckapparat umwandeln, indem man denselben mit umgekehrten Kammern einrichtet, so dass die von dem nach innen abwärtsgeneigten Schirme aufgefangene Luft nicht nach oben, sondern nach unten geleitet würde, so müsste zu gleicher Zeit auch an der vom Winde abgekehrten Seite, da die Kammern daselbst offen sind, die Luft aus denselben durch den Wind hinweggerissen werden, und so entstände im obersten Theile des Apparates absolute Luftverdünnung neben der Verdichtung und beide Einflüsse müssen sich zunächst ausgleichen, ehe der Ueberschuss des einen zur Wirkung gelangen kann. Die Pressung wird das Uebergewicht behalten, weil dieser noch die Inertie des Luftstromes zu Hülfe kommt, und es wird eine gewisse Luftmenge in die Röhre hinabgelangen. Soviel ist jedoch klar, dass die pressende Wirkung des Windes bei Apparaten, die nach allen Seiten offen sind, nicht vollständig zur Geltung

kommen kann, dass also auch die Luftzuführung hiedurch eine verhältnissmässig geringe ist. Und verschliesst man eine oder die andere Seite, so wird der feste Apparat eben auch bei gewisser Richtung des Windes gar nicht, bei anderer Richtung wieder dem Zwecke gerade entgegengesetzt wirken.

Die Theilung solcher Apparate durch verticale Wände in einzelne Kammern ist hier besonders sachdienlich; auch werden die Kammern zweckmässig in grösserer und gerader Anzahl angebracht und zwar mit über der Röhre zusammenstossenden Wänden; denn was in diesen Beziehungen bei den Saugkappen nachtheilig wäre, ist hier vortheilhaft.

Fig. 149.



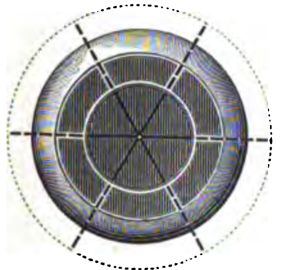


Fig. 149 zeigt eine Blaskappe, die man als Wolpert's festen Luftfänger oder Pulsator bezeichnen mag, im mittleren Verticalschnitt, wobei der untere Theil als Aussenseite des Mauerwerks eines cylindrischen Ventilationsschachtes ersichtlich ist. Indessen kann die Querschnittsform dieses Mauerwerks, welcher dann der Pulsator anzupassen wäre, auch polygonal, quadratisch oder oblong sein und zwar, wie aus früheren Betrachtungen folgt, unter gewissen Umständen sogar besser so.

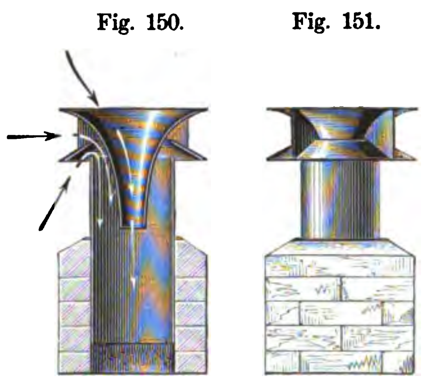
Aus dem in der Höhe ab genommenen Horizontalschnitt ist ersichtlich, dass drei durchgehende Wände sechs Kammern bilden. Es ist, wie man erkennen wird, dafür gesorgt, dass der Wind vielseitig aufgefangen und in den Luftschacht hinabgeleitet wird, dabei aber Schnee und Regen nicht in allzugrosser Menge eindringen.

So gross die Zahl der Erfindungen gewöhnlicher Schornsteinaufsätze ist, so gering ist die solcher Blaskappen. Doch existiren seit einigen Jahren deren zwei, die hier folgen mögen.

Käuffer's Pulsator, durch Fig. 150 und 151 im Verticalschnitt und in der Ansicht dargestellt, könnte das Bedenken erregen, dass er nicht nur den seitlich beigeführten, sondern sogar den vertical fallenden Schnee und Regen in Menge auffängt und in die Röhre leitet.

Doch ist dieses in den meisten Fällen kein wesentlicher Nachtheil, weil man das Wasser an den unteren Mündungen der Luftröhren auf-

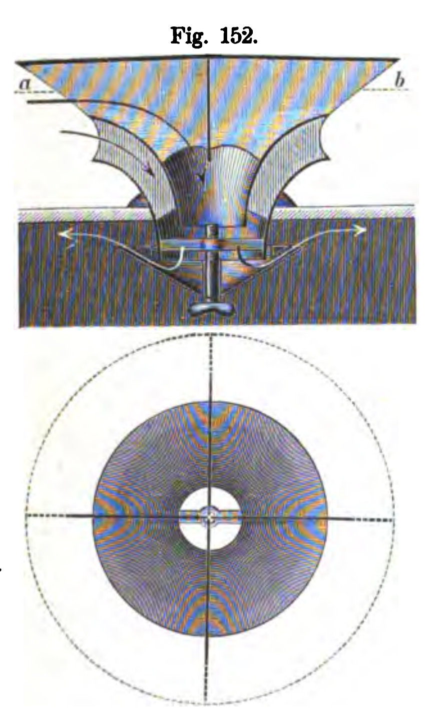
fangen und fortleiten oder von Zeit zu Zeit beseitigen kann, wie es bei dem folgenden Pulsator angedeutet ist.


Fig. 150. Fig. 151.

Dieser in Fig. 152 dargestellte Pulsator ist von Rud. Schmidt construirt und bei dessen Ventilirung von Eisenbahnwagen mit gutem Erfolge in Anwendung gebracht worden. Das untergehängte conische Gefäss dient zugleich in zweckmässiger Weise dazu, die eingepresste Luft nach allen Seiten unter der Wagendecke zu vertheilen.

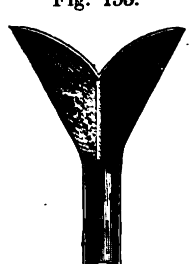
Die Richtung der Winde ist grossentheils durch die örtliche Lage, durch die Formen der Erhebungen und Vertiefungen in der Umgebung eines Ortes bedingt; an manchen Orten, namentlich in Thälern hat man nur zwei bestimmte, in ihrer Richtung entgegengesetzte Winde. Alle übrigen Winde weichen wenig von diesen zwei Hauptrichtungen ab. Es genügt alsdann, einen Apparat für diese zwei Windrichtungen anzuwenden. Ein solcher ist in Fig. 153 angedeutet. Die Ansicht des Apparates in der Richtung des Windes kann dieselbe sein wie in Fig. 148. Der gegenwärtige Apparat hat nur nach zwei Seiten eine Mündung, um den Wind aufzufangen, und in der Mitte ist eine leichte Platte, etwa ein Brettchen, mit Hülfe von Bändern aus Tuch, Leder, Kautschuk u. dgl. oder mittels eines als Drehaxe dienenden Stäbchens oder auch in anderer Weise leicht beweglich aufgehängt, so dass durch gleichzeitige Pressung auf der einen und Luftverdünnung auf der anderen Seite sich

Fig. 152.



dieses Brettchen an eine der Röhrenwände anlegt, wodurch die Luftverdünnung unschädlich wird und der Wind veranlasst ist, ungestört in die Röhre hinabzufliessen.

Fig. 153.



Bringt man über einem Raume zwei solche Apparate in solcher Stellung an, dass die Drehaxen ihrer Tafeln gegenseitig einen rechten Winkel bilden, so wird bei jeder nur möglichen Richtung des Windes dem Raume Luft zugeführt, da der Wind nicht gerade normal gegen die hängende Tafel treffen muss, um dieselbe nach der anderen Seite hin anzudrücken.

Fig. 154 zeigt eine Modification dieses Prinzips, wobei das Eindringen von Schnee und Regen verhütet wird und eine leichtere Beweglichkeit der unten drehbaren Tafeln durch Gegengewichte bewirkt ist.

Wie sich diese von mir erdachten Luftfänger in der Anwendung bewähren, kann bis jetzt nicht angegeben werden, weil sie noch nicht angewendet worden sind. Es ist jedoch an deren guter Wirkung nicht zu zweifeln; sie muss mit physikalischer Nothwendigkeit erfolgen, wie bei der Einfachheit der Sache einleuchten wird.

Der auf gleichem Prinzip beruhende in Fig. 155 dargestellte Luft-

Fig. 154.

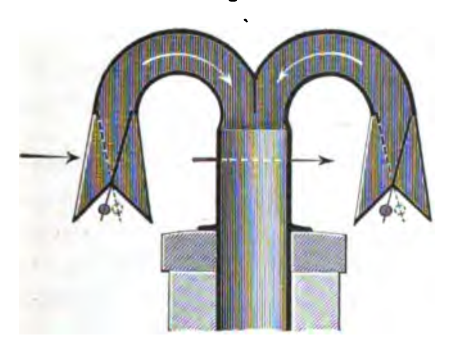


Fig. 155.



fänger von Rud. Schmidt functionirt, unter den Fussböden von Eisenbahnwagen angebracht, bei der daselbst vorhandenen relativen Luftbewegung in befriedigender Weise.

§. 134.

Apparate, welche für Zuführung und Abführung der Luft geeignet sind.

Will man Zuführung und Abführung der Luft zu gleicher Zeit mittels derselben Apparate erzielen, so eignet sich hiezu schon der in Fig. 153 dargestellte Apparat in Rücksicht auf zwei entgegengesetzte und nicht viel von dieser Hauptrichtung abweichende Winde, wenn man anstatt der hängenden Tafel eine feste Scheidewand durch die ganze Röhre hinabführt. Alsdann wird immer durch die eine Röhrenhälfte die äussere Luft hinab-, durch die andere die Luft des Raumes emporfliessen. Damit die beiden Luftströme sich nicht an der Decke des Raumes vermischen und auch durch Reibung sich gegenseitig in der Bewegung nicht aufhalten, sind dieselben im Raume noch getrennt zu halten, indem man die Scheidewand, unter der Röhre seitlich erweitert, noch auf eine Strecke in den Raum hinabreichen lässt.

Dass man durch einen untergehängten Schirm, der zugleich das Regenwasser auffangen kann oder durch eine horizontale Platte oder Scheibe die eingeführten Luftmassen horizontal lenkt, ist für die Ventilation kalter Räume nicht zweckmässig, weil hiebei die kalte Luftschicht am Boden nicht einmal durch Vermischung mit der warmen verbessert würde, was alsdann geschieht, wenn die warme Luft mit Heftigkeit und ungehindert vertical herabgepresst wird. Besser ist es, die Röhre fast bis zum Boden des zu ventilirenden kalten Raumes hinabreichen zu lassen, und die Scheidewand, unter der Röhrenmündung erweitert, vollständig bis an den Boden fortzusetzen.

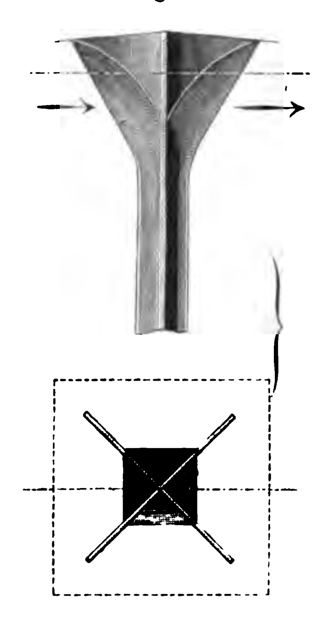
Fig. 156 stellt im horizontalen und verticalen Schnitte nach den punktirten Linien einen Saug- und Druckapparat für alle Windrichtungen vor. Derselbe ist an vier Seiten offen und desswegen ist auch durch eine doppelte sich kreuzende Wand die Röhre selbst vollständig in vier verticale Abtheilungen, also eigentlich in vier Röhren geschieden. Durch zwei dieser Röhrentheile wird nun immer die äussere Luft eingepresst, durch die zwei anderen wird die Luft des Raumes emporgehoben.

Bringt man den in Fig. 118 oder 148 angegebenen Apparat viermal fest an und zwar nach den vier Himmelsgegenden, wobei natürlich die Windfahnen wegbleiben, so erzielt man ebenfalls zu jeder Zeit Zuführung und Abführung der Luft. Es ist, wie man leicht erkennt, der vereinigte Saug- und Druckapparat, wie ich ihn in Fig. 156 angeordnet habe, im

Grunde nichts Anderes, als die vierfache Verbindung des Apparates, Fig. 118 oder 148.

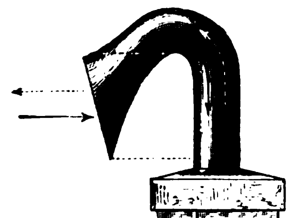
Die abwechselnde Benützung einer Ventilationsröhre, um je nach der Richtung des Windes bald die Luft mittels derselben herabzuführen, bald solche emporzuleiten, ist mit dem Nachtheile verknüpft, dass man die Höhen oder Stellen überhaupt, wo in den einzelnen Fällen die Mündungen am vortheilhaftesten angebracht wären, nicht mehr so nach Wunsch beibehalten kann. Desshalb wird eine vollständige Entfernung der schlechten Luft aus einem Raume, die vollständige Lufterneuerung, auf diese Weise nicht erreicht. Die Ventilation geschieht mehr durch Vermischung beider Luftmassen. Ferner geht jedesmal, wenn sich die Windrichtung ändert, eine gewisse Zeit für die Wirkung der Apparate verloren, indem der Luftstrom in einer Röhre, der einmal mit einiger Heftigkeit im Gange ist, nicht sogleich wieder nach der umgekehrten Richtung in den rechten Gang kommen kann.

Fig. 156.



Wenngleich in vielen Fällen solche Rücksichten keine Bedeutung haben, so wird man doch auch in vielen anderen Fällen es vorziehen müssen, eigene Apparate für Zuführung und eigene für Abführung der Luft anzubringen. Man kann alsdann den regelmässigen Gang der Luftströmung im Raume selbst leicht im Voraus angeben und manche zweckmässige Einrichtung mit Rücksicht darauf treffen.

Fig. 157.



Von der Anwendung gleicher Apparate zu abwechselnder Zuführung und Abführung der Luft habe ich bei der Ventilation eines Pulvermagazins Gebrauch gemacht.

Es konnten da jedoch die Formen Fig. 118 oder 148 nicht unmittelbar benützt werden, weil Trockenheit Hauptbedingung war, das Regenwasser also aus den Luftzuführungs-

röhren, als welche der Reihe nach sämmtliche zu functioniren hatten, abgehalten werden musste.

Ich liess die Apparate, welche Lüftungstrichter heissen mögen, in der Gestalt von Fig. 157 aus Gusseisen herstellen und habe damit in Bezug auf Absaugen und Einpressen der Luft, sowie auf erwünschte Trockenheit vorzügliche Resultate erzielt.

§. 135.

Einfluss der Farbe der Ventilationsapparate auf die Luftströmungen in denselben.

Für die Wirkung der zuletzt aufgeführten Saug- und Druckvorrichtungen sind die nahezu horizontalen Winde am meisten günstig. Gewöhnlich haben auch die Luftströmungen in der Atmosphäre eine nahezu horizontale Richtung; in starkem Sonnenschein dagegen ist die Luftbewegung nach horizontalen Richtungen häufig sehr gering. Werden gleichwohl auch die horizontalen Luftströmungen durch die Wärme erzeugt (§. 85), so sind dieselben über den erhitzten Körpern selbst nahezu vertical nach oben gerichtet, über den weniger erhitzten Körpern nahezu vertical nach unten; das Ueberfliessen, Ersetztwerden der emporsteigenden Luftmasse durch die sinkende geschieht in nahezu horizontaler Strömung, so hauptsächlich unmittelbar an der erhitzten Fläche. Da in Folge dessen die äusseren Luftbewegungen im Sonnenschein zuweilen sich nicht so wirksam zeigen, und auch, wenn die Ventilation ohne Sauger und Bläser nur durch die Temperaturdifferenz bewirkt werden soll, die äussere Temperaturerhöhung durch die Sonne oft sehr störend auftritt, so muss es jedenfalls willkommen sein, durch Beobachtung gewisser physikalischer Eigenschaften oder Erscheinungen auf gewissermassen nebensächliche Anordnungen geführt zu werden, welche gerade im Sonnenschein die Wirkung der Apparate erhöhen.

Es ist eine bekannte Sache, dass helle Farben die Licht- und Wärmestrahlen besser reflectiren als dunkle, dass dunkle Körper die Wärme mehr aufsaugen, sich selbst unter gleichen Umständen mehr erwärmen. Um die Grösse des Einflusses der Farbe auf die Erwärmung zu ersehen, fertigte ich zwei gleiche Röhren von 30 cm Länge aus starkem weissem Papier; die eine dieser Röhren färbte ich tief schwarz. Nun brachte ich, mit den Fingerspitzen die weisse Röhre nahe an der unteren Oeffnung haltend, diese Röhre in die Sonne und hängte nach

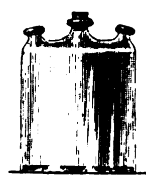
einiger Zeit ein Thermometer dicht über der oberen Mündung auf, jedoch hier und bei den folgenden Versuchen immer so, dass das Thermometer selbst von den Sonnenstrahlen nicht getroffen wurde. Das Quecksilber stieg auf 19°, aber nicht höher, so lange auch die weisse Röhre von der Sonne beschienen wurde, während an derselben Stelle, als die Röhre weggenommen worden war, das Thermometer alsbald constant 16° zeigte. Nun hielt ich an dieselbe Stelle die schwarze Röhre; das Thermometer zeigte nach sehr kurzer Zeit 25°. Man sieht hieraus, dass die äussere Luft während ihres Emporfliessens in diesen beiden der Sonne ausgesetzten kurzen Röhren schon bedeutend erwärmt wurde, in der weissen Röhre um 3°, in der schwarzen sogar um 9°.

Da die in zwei verschieden warmen Luftsäulen resultirenden Kräfte, welche die Bewegung hervorbringen, von der Höhe sowohl wie von den Temperaturunterschieden abhängig sind, und die Geschwindigkeiten sich nahezu verhalten wie die Quadratwurzeln der Producte aus den Höhen und den Temperaturdifferenzen, so musste offenbar in der schwarzen Röhre die Luft mit viel grösserer Kraft und Geschwindigkeit emporgehoben werden, als in der weissen. Es musste übrigens für die weisse Röhre eine gewisse Höhe geben, bei welcher sie dieselbe Wirkung hervorbrachte, wie die schwarze, und diese Höhe musste ungefähr die dreifache der geschwärzten Röhre sein, weil das Verhältniss der Temperaturdifferenzen zwischen der Luft in den Röhren und der äusseren Luft für die beiden Fälle 3° : 9° oder 1 : 3 ist; die Höhen müssen sich für den Zustand des Gleichgewichts oder der gleichen Wirkung nahezu umgekehrt wie die Temperaturdifferenzen verhalten also wie 3 : 1.

Um die Uebereinstimmung dieser theoretischen Anschauung mit der Wirklichkeit zu zeigen, hatte ich in einen ziemlich kühlen nach Norden liegenden Raum eine ziemlich grosse, mit drei Mündungen versehene Flasche (Woulf'sche Flasche Fig. 158) gestellt. In diesem kalten Raume füllte ich die Flasche mit Rauch und brachte sie in ein wärmeres nach Süden liegendes Local, welches von der Sonne beschienen wurde. Ich stellte die mit dem kalten Rauche gefüllte Flasche an den drei Mündungen geöffnet hier in den Schatten; der Rauch konnte natürlich nicht aus der Flasche kommen. Ich steckte die beiden gleich langen Röhren, die weisse und die geschwärzte, welche durch längeres Liegen im Schatten auf gleiche Temperatur abgekühlt waren, auf die beiden Seitenmündungen der Flasche; der Rauch kam nicht aus der Flasche. Nun stellte ich die Flasche so, dass die weisse Röhre von der Sonne

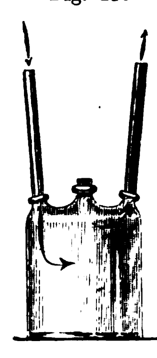
beschienen wurde, während der übrige Theil des Apparates beschattet blieb; der Rauch kam augenblicklich durch die weisse Röhre empor.

Fig. 158.



Alsdann liess ich die Sonnenstrahlen auch zugleich auf die schwarze Röhre fallen; der Rauch über der weissen Röhre war sogleich verschwunden und kam mit viel grösserer Stärke aus der schwarzen Röhre empor (Fig. 159.)

Fig. 159.



Die 30 Centimeter lange weisse Röhre nahm ich weg und steckte anstatt dieser eine 90 Centimeter lange weisse Röhre auf. Das Ausfliessen des Rauches aus der schwarzen Röhre schien Anfangs nicht gestört zu werden; während jedoch die lange weisse Röhre durch die Sonne mehr und mehr erwärmt wurde, bemerkte man eine Verminderung der Geschwindigkeit des ausfliessenden Rauches, und endlich kam gleichmässig aus beiden Röhren der Rauch zum Vorschein, während man an der Rauchcirculation in der Flasche bemerken konnte, dass zugleich durch beide Röhren äussere Luft herabgelangte. (Fig. 160.)

Fig. 160.



Hieraus ist ersichtlich, dass die Luftsäule in keiner der beiden Röhren das Uebergewicht erhalten konnte; in jeder Röhre wurde aber die Luft einseitig erwärmt, musste auf der Schattenseite hinabfliessen und dabei, wenngleich sie wärmer war als Luft und Rauch in der Flasche, vermöge der Inertie in die Flasche gelangen, eine gleiche Rauchmenge durch die Röhre verdrängen.

Ich steckte ferner anstatt der 90 Centimeter langen weissen Röhre eine längere auf; der Rauch kam nur durch die weisse Röhre empor, sobald dieselbe gehörig erwärmt war.

Endlich vertauschte ich diese Röhre wieder mit einer 75 Centimeter langen ebenfalls weissen Röhre; der Rauch floss nur durch die schwarze Röhre aus.

Die erwähnten Versuche zeigen, dass die Farbe der Ventilationsröhren, wo dieselben der Sonne ausgesetzt sind, nicht als ein zu geringfügiger Umstand unbeachtet bleiben darf; es folgt vielmehr daraus die Regel:

Alle Apparate und freistehenden Röhrentheile, welche den Zweck haben, die Luft aus einem Raume aufwärts in

die Atmosphäre zu führen, überziehe man mit schwarzer Farbe; diejenigen Apparate und der Sonne ausgesetzten Theile, welche zum Abwärtsleiten der äusseren Luft nach einem Raume dienen, mit weisser Farbe. Ferner ist es zweckmässig, die Luftzuführungsapparate vor der Sonne möglichst zu schützen, wenn sie aber der Sonne ausgesetzt werden müssen, sie so niedrig als es die übrigen Umstände zulassen anzubringen; die Luftableitungsapparate dagegen der Sonne möglichst auszusetzen, die von der Sonne bestrahlte Fläche auch durch Erhöhung der Röhre zu vergrössern.

Wenn diese Anordnungen bei Sonnenschein von erheblichem Nutzen sein können, so sind sie, wenn die Sonne nicht scheint, in der Regel weder nützlich noch schädlich. Doch kann eine bedeutende Vergrösserung der Reibungslänge ungünstig sein, und ferner auch, wenn die Abflussröhre bei der Ventilation kalter Räume die nicht künstlich erwärmte Luft in die Atmosphäre emporführt, kann die Erhöhung dieser kalten Luftsäule nachtheilig werden; selbst wenn dieselbe durch die Sonne erwärmt wird, kann der nachtheilige Einfluss vorherrschen, sobald die Luft im Innern sehr kalt ist. Dagegen ist auch wieder zu berücksichtigen, dass in grösserer Höhe die Wirkung des Windes grösser und regelmässiger ist. Specielle Fälle verlangen immer eine specielle Ueberlegung.

§. 136.

Einfluss des Materials der Ventilationsapparate auf die Luftströmungen in denselben.

Ob man als Material für die obigen Saug- und Druckapparate, sowie für die zugehörigen Röhren einen sehr guten Wärmeleiter, Metall, oder einen schlechteren, Stein oder Thon, oder endlich einen noch schlechteren, Holz, wählen soll, darüber lässt sich im Allgemeinen nichts Bestimmtes sagen; es sprechen hier mancherlei andere Rücksichten mit. Solche sind: die leichtere Ausführbarkeit der Apparate aus dem einen oder anderen Material, die Kosten für Anlage und Reparatur, die früher oder später nach der Beschaffenheit des Materials nöthige Erneuerung, also die Dauer des Apparates, die durch Reparatur und Erneuerung veranlassten Störungen u. dgl. In Bezug auf die durch das Wärmeleitungsvermögen modificirten Einflüsse auf den Effect der Apparate mögen indessen immerhin einige Andeutungen zu geben sein.

Ist die Luft in dem zu ventilirenden Raume kälter, als die äussere

Luft, und wird durch den Ableitungsapparat, Saugapparat mit freistehender Röhre, die innere kalte Luft, ohne vorher künstlich erwärmt worden zu sein, in die wärmere Atmosphäre übergeführt, so ist immer für den Ableitungsapparat Metall sehr geeignet, mag die Sonne denselben bescheinen oder nicht, da das Metall leicht Wärme von der äusseren Luft an die Luft in der Röhre überleitet, so dass diese Luft leichter emporsteigt. Ist dagegen die abgeführte Luft wärmer als die äussere, so ist Metall im Schatten nicht so zweckmässig, weil nun dieses die Wärme von innen nach aussen fortpflanzt. Im Sonnenschein ist aber auch hier Metall vorzuziehen, weil die aufgenommene Wärme sich leicht durch den ganzen Apparat auch nach der Schattenseite fortpflanzt, wodurch die Doppelströmungen, die bei einem schlechten Wärmeleiter leicht durch ungleiche Erwärmung entstehen, verhütet werden.

Für den Zuleitapparat, Pulsator mit freistehender Röhre, ist die Art des Materials im Schatten ziemlich gleichgültig, weil die Wände des Apparats von allen Seiten mit gleich warmer Luft in Berührung sind, wobei das Wärmeleitungsvermögen in keiner Beziehung in Anschlag kommen kann. Im Sonnenscheine jedoch ist hiefür ein schlechter Wärmeleiter vorzuziehen, weil die Luft um so schwerer nach unten, dem tieferliegenden Raume zuzuführen ist, je wärmer sie beziehungsweise ist, oder in dem Apparate erst wird. Man darf also in Betreff dieses Umstandes für die Druckröhren und Druckapparate dem Holze vor Thon und Stein, diesen Materialien wieder vor Eisen oder überhaupt vor Metall den Vorzug einräumen.

Die Rücksichten auf Feuersicherheit müssen natürlich in erster Linie massgebend sein; man darf nicht übersehen, dass auch Metall durch gute Wärmeleitung gefährlich werden kann.

§. 137.

Einfluss der Nässe in und an den Ventilationsapparaten auf die Luftströmungen in denselben.

Das Verhalten der atmosphärischen Luft zum Wasser und Wassergas, der Einfluss der Feuchtigkeit auf das specifische Gewicht der Luft u. s. w. ist in §. 56 und 57 ausführlich abgehandelt. Die Hauptsätze jener Abhandlungen sind etwa folgende: In einem bestimmten Raume kann gleichviel Wasser in Dampfgestalt vorhanden sein, mag nun der Raum leer oder mit Luft von beliebiger Dichte gefüllt sein, wenn nur

die Temperatur des Raumes und folglich des Dampfes dieselbe ist. Wenn Luft nicht selbst schon mit Dampf gesättigt ist, verwandelt sie mit Wasser in Berührung einen Theil desselben in Dampf; zur Dampfbildung aus dem Wasser ist eine grosse Menge Wärme erforderlich, welche der ganzen Umgebung, dem Wasser, der Luft, sowie anderen damit in Berührung stehenden Körpern entzogen wird. Zugleich wird aber auch die Luft, wenn sie bei constantem Drucke und veränderlichem Volumen Wasserdampf aufnimmt, specifisch leichter, da der Dampf seine Spannkraft zur Geltung bringt und selbst specifisch leichter ist als die Luft, in welcher er sich unter dem constanten Atmosphärendrucke durch Diffusion verbreitet. Die feuchte Luft ist specifisch leichter als trockne Luft von derselben Temperatur und Spannkraft. Hiebei ist also, was die Temperatur angeht, zu berücksichtigen, ob die zur Dampfbildung nöthige Wärme von der Luft selbst oder von einer anderen Wärmequelle geliefert wird. Es kann die Temperatur der feuchten Luft durch den bei der Dampfbildung für sie unmittelbar und alsdann noch mittelbar durch Abkühlung der übrigen Umgebung entstehenden Wärmeverlust so sehr erniedrigt werden, dass die feuchte Luft schliesslich ein bedeutend grösseres specifisches Gewicht hat, als dieselbe Luft vorher in mehr trocknem aber auch wärmerem Zustande.

Dass diese Umstände auf den Effect einer Ventilationsanlage einen bald günstigen bald ungünstigen Einfluss auszuüben vermögen, wird man leicht einsehen; die folgenden Versuche mögen das anschaulich machen.

Auf die in §. 135 dargestellte Flasche, welche mit kaltem Rauche angefüllt war, steckte ich im wärmeren Raume zwei ganz gleiche weisse Röhren; es war keine Störung des Gleichgewichts in der Flasche zu bemerken. In der Sonne dagegen kam aus beiden Röhren zugleich etwas Rauch empor. Nun steckte ich auf der einen Seite eine trockne, auf der anderen Seite eine innen nasse Röhre auf. (Ich nahm hiezu bei einem Versuche andere Röhren als die vorher benützten, um durch die Einflüsse der früheren Erwärmung nicht gestört zu sein; bei anderen Versuchen benützte ich dieselben Röhren, indem ich die eine davon innen mit Wasser benetzte; die Erscheinungen blieben immer dieselben.) Im Schatten floss der Rauch aus der trocknen Röhre empor. Offenbar wurde bei der Verdampfung des Wassers in der Röhre das specifische Gewicht der Luft in Folge bedeutenden Wärmeverlustes ein grösseres, so dass die Luft in der nassen Röhre hinabsinken und eine gleiche Luftmenge, also im gegenwärtigen Falle einen Theil des Rauches aus der Flasche verdrängen

musste. In der Sonne blieb die Erscheinung dieselbe; nun wurden allerdings beide Röhren erwärmt, aber die trockne Röhre viel rascher.

Die Erscheinung änderte sich in Nichts, wenn ich statt der innen nassen Röhre eine gleiche aussen nasse wählte. Auf diese Weise war also von einer Verminderung des specifischen Gewichts der Luft durch Dampfaufnahme, die im ersten Falle ohne Zweifel stattfinden musste, aus jener ersten Erscheinung Nichts bemerkbar. Dass aber dennoch das specifische Gewicht der Luft, wenn dasselbe durch Abkühlung vergrössert wird, sich durch Aufnahme von Wasserdampf wieder etwas vermindert, mit anderen Worten, dass feuchte Luft specifisch leichter ist als trockne Luft von gleicher Temperatur und Spannkraft, was in §. 57 auf theoretischem Wege bewiesen wurde, das veranschaulichte ich in folgender Weise:

Ich brachte auf die Flasche zwei gleiche Röhren, von welchen die eine aussen, die andere innen möglichst gleichmässig mit Wasser benetzt war. Im Schatten sowohl wie in der Sonne kam der Rauch immer aus jener Röhre hervor, welche im Innern nass war, in welcher sich also der gebildete Dampf mit der abgekühlten Luft mischen musste.

Die Erscheinungen, welche durch die Verdampfung des Wassers, wie bisher mitgetheilt, veranlasst wurden, waren im Schatten wie in der Sonne prinzipiell dieselben; in der Sonne war nur die Strömung heftiger, weil die Störung des Gleichgewichts eine grössere. Ganz verschieden aber wurden die Erscheinungen in der Sonne und im Schatten bei dem folgenden Versuche:

Fig. 161.

Die eine Seitenmündung der Flasche liess ich einfach offen und steckte auf die andere Mündung eine nasse Röhre. (Die Erscheinungen blieben in der Hauptsache ungeändert, die Röhre mochte aussen oder innen oder auf beiden Seiten nass sein.) Im Schatten floss der Rauch aus der niederen Oeffnung hervor, während die äussere Luft durch die Röhre herabfloss (Fig. 161), weil die Luft in der Röhre, welche Anfangs die äussere Temperatur hatte, durch die Dampfbildung, welche auf Kosten ihres eigenen Wärmegehaltes geschehen musste, zu sehr abgekühlt wurde.

Nun stellte ich die Flasche so in die Sonne, dass die nasse Röhre sowohl als die andere Mündung der Flasche von der Sonne bestrahlt war; sogleich war auch die Strömung umgekehrt.

Die Sonne, diese überaus reiche Wärmequelle, lieferte mehr als hinreichend viel Wärme, um allein das Wasser in Dampf zu verwandeln, so dass der Luft in der Röhre und der Röhrenwand selbst keine Wärme entzogen oder die entzogene sogleich wieder ersetzt wurde. Dass jedoch die Erwärmung der Röhre selbst, so lange sie nass blieb, eine höchst geringe war, das bewies der Umstand, dass bei Abhaltung der Sonne die Strömung sich sehr bald umkehrte. So konnte ich, so oft ich wollte, bewirken, dass der Rauch an der niederen oder an der höheren Mündung ausfloss, je nachdem ich die Sonne abhielt oder zuliess.

Schliesslich bemerke ich noch, dass die Flasche zwischen den einzelnen Versuchen wiederholt mit kalter Luft und Rauch in einem kälteren Raume gefüllt wurde, und dass ich von der Flasche selbst während der Versuche die Sonne abhielt, weil ich bei denselben zunächst die Ventilation kalter Räume im Auge behielt, und noch mehr desswegen, weil die an und für sich ruhige, specifisch schwere Rauchmischung für die vorstehenden Untersuchungen geeigneter war; bei Anwendung wärmerer Luft und wärmeren Rauches in der Flasche hätte eine geringe Wirkung der speciellen Anordnungen nicht so leicht beobachtet werden können, weil der Rauch alsdann schon durch die äussere specifisch schwerere Luft aus der Flasche gehoben worden wäre, wenn man auch nicht absichtlich das Gleichgewicht gestört hätte. Nichtsdestoweniger werden diese Versuche allgemeinere Geltung haben, und gestützt auf diese sowie auf die früheren damit in Einklang stehenden theoretischen Untersuchungen wird man Folgendes als Regel aussprechen dürfen: Die Röhren und Apparate, welche die Luft aus einem Raume nach oben in die Atmosphäre führen, sollen soviel als möglich vor äusserer und innerer Nässe geschützt werden, weil bei der Verdunstung des Wassers die Röhren abgekühlt werden und die Luft in denselben specifisch schwerer oder doch nicht in dem Grade erwärmt und specifisch leichter wird, als in einer trocknen Röhre unter denselben Umständen.

Für die Bewegung in der Zuflussröhre, wenn darin die Luft abwärts geleitet werden soll, ist die Nässe günstig, weil die Bewegung um so besser in der verlangten Richtung von Statten geht, je kälter, je specifisch schwerer diese Luft ist. Das Eindringen der Feuchtigkeit in das Innere der Röhren dürfte jedoch aus anderen Gründen zuweilen nicht willkommen sein. Ueberhaupt versteht es sich von selbst, dass solche Regeln häufig gewissen anderen Haupträcksichten gegenüber nicht befolgt werden können, wenngleich es nicht unnöthig sein dürfte, sie zu kennen und im Auge zu behalten.

§. 138.

Allgemeines über die Ventilation warmer Räume.

Eine Ventilationsanlage für solche Räume auszuführen, in welchen die Luft wärmer ist, als die Luft im Freien, das ist eine in Rücksicht auf Gesundheit und Annehmlichkeit viel wichtigere, viel häufiger vorkommende Aufgabe, als jene, einen kalten Raum zu ventiliren. Die Heizperiode macht bei uns den grösseren Theil des Jahres aus; vielseitig erfordern künstliche Entwickelung von Wärme die alltäglichen Zwecke der häuslichen wie der industriellen Thätigkeit; unsere Räume in nächtlichen Stunden durch Flammen zu erhellen, sind wir ebenfalls täglich genöthigt. Doch auch abgesehen von diesen Ursachen der Erwärmung von Feuerung und Beleuchtung, der menschliche Körper selbst ist ein vom ersten bis zum letzten Athemzuge Wärme entwickelnder Apparat, gewissermassen ein Ofen. Wenn in einem auf gewöhnliche Weise abgeschlossenen Raume sich nur kurze Zeit einige Personen aufgehalten haben, so ist die Temperatur der Luft daselbst schon höher geworden.

Auf ähnliche Weise, wie es bei den obigen Untersuchungen in Betreff der Ventilation kalter Räume angedeutet wurde, kann man sich auch bei der Ventilation warmer Räume, die durch irgend eine Einrichtung veranlasste Luftströmung dadurch anschaulicher vorstellen, dass man sich anstatt der kälteren äusseren Luft Wasser denkt. Diese Anschauung ist indessen hiebei nicht so leicht festzuhalten, wie bei einem abgeschlossenen Raume, der mit Wasser gefüllt ist, weil im letzteren Falle thatsächliche Beispiele unserer Vorstellung zu Hülfe kommen, eine die Erdoberfläche umgebende Wassersphäre an Stelle der Luftspäre aber immer Idee bleiben muss. Freilich kann man sich den kleineren mit Luft gefüllten Raum von einer beliebig grossen, gegen die Dimensionen der Atmosphäre ausserordentlich kleinen Wassermenge umgeben denken, und nach dieser Annahme lassen sich leicht auch Versuchsapparate anfertigen. Einfacher noch und mehr in directer Weise sachdienlich wird es jedoch sein, die Versuche, wenn solche wünschenswerth sind, geradezu mit Luftmassen vorzunehmen.

Die Art und Weise, wie solche Versuche überhaupt anzustellen sein dürften, wird die Mittheilung einiger Versuche weiter unten zeigen. Eine Flasche mit einigen Oeffnungen versehen, wodurch sie sehr leicht mit Rauch gefüllt, mit verschiedenen Röhren verbunden werden kann,

worin man ferner auch eine brennende Kerze anzubringen vermag, das ist ein billiger und zweckmässiger Versuchsapparat.

Ist es unthunlich oder zu lästig, die Luftströmung durch Rauch bemerklich zu machen, wobei dann noch die Flasche erwärmt werden müsste, so bedient man sich der brennenden Kerze, welche man in die Flasche bringt. Die Flamme erwärmt die Flasche und die Luft darin, sie verdirbt auch zugleich die Luft in ähnlicher Weise, wie es durch das Athmen geschieht. Da die Flamme eine gewisse und nicht geringe Luftmenge zum ungestörten Brennen nothwendig hat, so giebt die Intensität der Flamme zugleich einen annähernden Massstab für die verhältnissmässige Wirkung, für die Quantität der zugeführten und umgetauschten Luft bei verschiedenen Versuchen. Auf die Dimensionen der Flasche kommt es im Prinzip nicht viel an, mehr auf die Form; Form und Dimensionen können jedoch mehr oder weniger zweckmässig gewählt sein. Die von mir benützte Flasche hatte nebengezeichnete Form (Fig. 162) und folgende Dimensionen: die Weite der Flasche = 24 Centimeter, die Höhe der verticalen Flaschenwand, also des eigentlichen Raumes = 29 Centimeter; der innere Durchmesser an der engsten Stelle des mittleren Halses = 3 Centimeter; der Durchmesser der Seitenöffnungen je $2\frac{1}{4}$ Centimeter. Somit ist der lichte Querschnitt der eigentlichen mittleren Oeffnung 7,065 oder rund 7 Quadratcentimeter $\left(\text{nämlich } \frac{d^2\pi}{4}\right)$, der lichte Querschnitt der Seitenöffnungen je 3,974, oder fast 4 Quadratcentimeter; die beiden Seitenöffnungen zusammen sind also etwas grösser, als die mittlere Oeffnung. Es wird in den folgenden Paragraphen an einigen Stellen erwünscht sein, diese Dimensionen angegeben zu finden.

Fig. 162.

29 cm

21 cm.

Da wir durch die Höhe der Atmosphäre in Betreff jener Höhe, auf welche die warme Luft steigen kann, nicht beschränkt sind, wie in Betreff der Tiefe, auf welche wir nur, je nach dem Terrain, die kalte Luft ausfliessen lassen können, so ist es für die Ableitung warmer Luft ohne Einfluss, ob ein Raum über oder unter der Erde liegt. Aus diesem Grunde wäre eine solche Eintheilung, wie sie sich für die Ventilation kalter Räume von selbst ergeben musste, an der gegenwärtigen Stelle zwecklos. Die Ventilation kann auch hier entweder nur durch Temperaturdifferenzen geschehen oder unterstützt

durch die früher aufgeführten Saug- und Druckapparate, deren Wirkung von den Luftbewegungen in der Atmosphäre abhängig ist. Auch der Heber, in nun entsprechender Weise modificirt, mag unter Umständen passende Anwendung finden.

In Betreff der Stellen, wo man die Ventilationsöffnungen in einem Raume anzubringen hat, sind die Ansichten verschieden und in verschiedener Weise motivirt. Die Einen behaupten, dass die Abflussöffnungen der verdorbenen Luft immer an der Decke angebracht werden müssen, weil wir auch bei kalter Luft sehen, wie die von uns ausgeathmete Luft gegen die Decke steigt. — Andere sind der Ansicht, die ausgeathmete Luft, oder doch die Kohlensäure derselben, müsse sich als specifisch schwerer am Boden sammeln, und folglich sei auch die verdorbene Luft am Boden abzuleiten. — Wieder Andere legen der Diffusion der Gase einen zu grossen Einfluss bei und behaupten, dass die Diffusion mit ebenso grosser oder fast so grosser Schnelligkeit geschehe, mit welcher Luft in den leeren Raum einströmt, dass folglich die Luft im ganzen Raume immer gleichmässig verdorben sei, dass also auch die Abflussöffnung an einer ganz beliebigen Stelle angebracht werden könne. — Noch Andere ziehen denselben Schluss aus der Annahme, dass die unvermeidlichen Bewegungen der ganzen Luftmasse, veranlasst durch Temperaturdifferenzen sowohl, wie durch Bewegungen anderer Körper, die verdorbene Luft sehr schnell im ganzen Raume vertheile.

In der That lässt sich diese Streitfrage nicht ein- für allemal durch eine allgemeine Regel endgültig erledigen; die schlechte Luft wird in dem einen Falle zweckmässiger an der Decke, in dem anderen am Fussboden abgeführt. Es erfordert diese Entscheidung, in jedem besonderen Falle eine mehrseitige Ueberlegung. Eine gewichtvolle Rücksicht bei dieser speciellen Entscheidung, sowie bei dem Entwurfe der ganzen Ventilationsanlage muss der Art und Weise der Erwärmung des Raumes eingeräumt werden. Verschiedene Umstände, namentlich die Brennstoffökonomie, gebieten, einen Unterschied zu machen zwischen der mit Heizung verbundenen Ventilation und der Ventilation ohne Heizung. Dieser Unterschied soll auch in den folgenden Untersuchungen festgehalten werden.

§. 139.

Einige Bemerkungen über die Ausbreitung der verdorbenen Luft in bewohnten nicht geheizten Räumen.

Wird die Luft in einem Raume durch die Anwesenheit von Personen und durch die Beleuchtung erwärmt, so geht Luftverderbniss mit Lufterwärmung Hand in Hand. Die ausgeathmete Luft ist im Augenblicke ihres Ueberfliessens in die Luft der Umgebung wärmer als diese; ebenso sind es die Producte der Verbrennung, hier der Beleuchtung.

Während sich die Wärme aus der Respirationsluft, aus dem Luftgemenge, worin Stickstoff, Kohlensäure und Wassergas dem Sauerstoff gegenüber in zu grosser Menge vorhanden sind, der übrigen Luft des Raumes mittheilt, verbreiten sich zugleich jene Gase in der Luft des Raumes durch Diffusion. Berücksichtigt man ferner die Erwärmung der Luft durch Berührung mit unserem warmen Körper, so nimmt diese Luft mit der Wärme zugleich die Producte in sich auf, welche eben mit der Wärme zugleich durch die Thätigkeit der Hautorgane ausgeschieden werden, die Producte der Ausdunstung. Man wird somit für den vorliegenden Fall sagen dürfen: die Diffusion der Wärme ist durch die Diffusion der Gase der verdorbenen Luft bedingt.

Die strahlende Wärme erwärmt die Luft unmittelbar fast gar nicht, sondern zunächst die umgebenden festen Körper. Während aber die Luft die Wärme von diesen Körpern durch Berührung in sich aufnimmt und dabei an diesen Körpern wegfliesst, nimmt sie theilweise zugleich Wasser und damit vermischte unreine, zuweilen faulende organische Stoffe in sich auf. Ein grosser Theil der strahlenden Wärme endlich, sowie der durch die Berührung mit der wärmeren Luft diesen Körpern, den Wänden, Thüren, Fenstern mitgetheilten Wärme geht durch die Wärmeleitung dieser Körper nach aussen über, somit für die Erwärmung des Raumes verloren. Auf die ohne Verunreinigung der Luft geschehende Erwärmung der Luft des Raumes durch die strahlende Wärme wird man sohin im vorliegenden Falle wenig Gewicht legen dürfen, dagegen zu der Annahme berechtigt sein, dass die Verunreinigung der Luft der Erwärmung, wenn solche nicht durch irgend eine Heizanlage geschieht, proportional sei.

Nun in Bezug auf den Ort, wo man im gegenwärtigen Falle die Luft abführen soll, noch einige Worte.

Die Vermischung der Gase nach allen Richtungen hin durch Diffu-

sion geht nicht so schnell vor sich als die durch Differenzen der Temperaturen, folglich der specifischen Gewichte veranlasste Strömung; geschweige mit der Schnelligkeit, mit welcher Luft in den leeren Raum einströmt. Wenn nun die am meisten verdorbene Luft in einem nicht geheizten Raume auch zugleich die wärmste Luft ist, so muss dieselbe, vorausgesetzt, dass sie nicht durch horizontale oder abwärts gerichtete Strömungen anderer Luftmassen selbst in ihrer eigenen Richtung aufgehalten oder gestört wird, in dem Augenblicke, wo sie den sie erzeugenden beziehungsweise verunreinigenden Körper verlässt, von der kälteren Luft der Umgebung schon emporgehoben werden, so dass sich die schlechteste Luft zunächst unter der Decke des Raumes ansammelt.

Dass die Luft in jedem Raume, den viele Menschen besuchen oder Flammen erhellen, an der Decke wärmer ist, als in den tieferen Schichten, das sagt uns schon das Gefühl und genauer das Thermometer; dass aber auch in den höheren Schichten die Luft am schlechtesten ist, wenn nicht durch besondere Heizeinrichtung (wovon weiter unten) dieser Umstand modificirt wird, das sagt uns das Geruchsorgan deutlich genug. Man denke an die Gallerien in Theatern, Tanz- und Concertsälen u. dgl.

Nun kann aber kein Zweifel mehr darüber bestehen, wo die Oeffnung für den Abfluss der schlechten Luft in einem nicht geheizten warmen Raume angebracht werden muss; bei einer horizontalen Decke offenbar an einer beliebigen Stelle derselben, bei nicht horizontaler Decke am höchsten Punkte derselben. An welcher Stelle die äussere kältere Luft eingeführt wird, ist eine Frage von weniger hoher Bedeutung, weil diese Luft, als kälter, specifisch schwerer, doch grösstentheils zunächst nach dem Boden fliesst.

Der Luftwechsel geht offenbar am regelmässigsten und vollständigsten vor sich, wenn die kalte Luft nur am Boden einfliesst. Es ist aber schwierig, sie so vielfach vertheilt einzuführen, dass ihre Strömung nicht belästigt, besonders wenn sie sehr kalt ist. Desshalb ist es in vielen Fällen besser, auf die Vortheile der regelmässig von unten nach oben fortschreitenden Lufterneuerung zu verzichten und die kalte Luft durch verticale, $1\frac{1}{2}$ bis 3 Meter hohe verticale Röhren oder Gehäuse, die nach Art zierlicher Schränke, Säulen oder Oefen ausgestattet sein können, und am besten direct in der Fussbodenhöhe mit der Aussenluft communiciren, einströmen zu lassen. Vermöge der Inertie gelangt die vertical einströmende Luft noch weiter gegen die Zimmerdecke, sinkt dann langsam herab, dabei sich ausbreitend und mit warmer

Luft mischend, und in Folge dessen ohne Belästigung der sich im Zimmer befindenden Personen.

Wenngleich dieses einfache Prinzip besonderer Beachtung werth ist, so mögen doch für gleiche oder ähnliche Verhältnisse im Folgenden noch einige Ventilationsprinzipien besprochen werden, die unter gewissen Umständen vorzuziehen sind oder doch gekannt zu werden verdienen.

§. 140.

Ventilation eines nicht geheizten warmen Raumes mittels einer Oeffnung an der Decke.

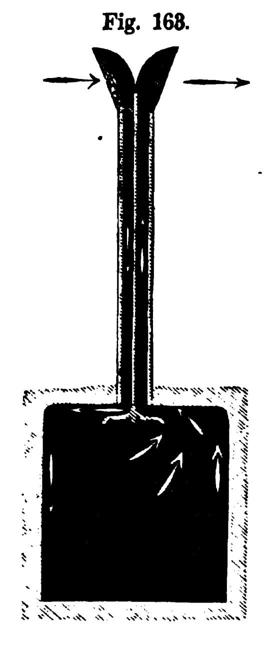
Communicirt ein Raum mit der Atmosphäre mittels eines grösseren oder kleineren Kanals, der nach Umständen nur die Länge einer Wand- oder Deckenstärke haben kann und bei grösserer Länge horizontal, vertical oder schräg ansteigend nach aussen geführt ist, in jedem Falle aber seine Mündung im Raume an der höchsten Stelle desselben hat, so wird keine Stelle in diesem Kanale oder im warmen Raume denkbar sein, an welcher die beiden ungleich warmen Luftmassen in Ruhe neben einander stehen könnten. Das Gleichgewicht ist gestört, man mag alle übrigen kleinen und grösseren Oeffnungen des Raumes als vorhanden annehmen oder nicht. Die schlechte Luft an der Decke des Raumes muss durch die daselbst angebrachte Oeffnung immer in dem Maasse entweichen, in welchem die äussere Luft in den Raum eindringt, und diese dringt in der That ein, theils durch die unvermeidlichen Fugen der Thüren und Fenster, unter Umständen durch die Poren der Wände, endlich durch dieselbe Oeffnung, durch welche die warme Luft ausfliesst. Ist die Summe aller kleinen Oeffnungen bedeutend grösser als die Oeffnung an der Decke, so dass trotz der vergrösserten Bewegungshindernisse durch jene eine hinlängliche Luftmenge zufliesst, um die durch die oberste Oeffnung abfliessende Luft zu ersetzen, so wird bei reichlichem Luftwechsel auch in der Regel dieser Luftzufluss als sogenannter Zug unangenehm empfunden. Sind aber Thüren und Fenster sehr dicht geschlossen, Fugen, Ritzen und Poren sehr unbedeutend, so muss durch die Ausflussöffnung an der Decke zugleich eine gewisse Menge kalter Luft einfliessen; diese wird theilweise an der Oeffnung selbst durch den aufwärts gehenden wärmeren Strom mit emporgerissen, und die abwärts gerichtete kältere Strömung reisst auch wieder schlechte Luft in den Raum hinab. Die Reibung vermindert auf diese Weise die Geschwindigkeit beider Ströme

in hohem Grade, und das, wenn der Kanal auch nur sehr kurz, als gewöhnliche Oeffnung an der Decke angenommen wird. Ist diese Oeffnung nicht übermässig gross, so wird der hiedurch erzielte Effect sehr gering, die Lufterneuerung gewöhnlich nicht genügend sein. Bringt man über der Mündung des Raumes eine Röhre an, so ist der Effect noch geringer und vermindert sich mit der zunehmenden Länge dieser Röhre. Denn (wie erwähnt, unter der Voraussetzung, dass nach den übrigen Umständen die Doppelströmung eintreten muss) es kommt die Röhrenhöhe nicht als Druckhöhe zur Geltung, dagegen ist aber der Reibung der beiden Luftströme unter sich und an den Röhrenwänden eine grössere berührende Fläche gegeben, wodurch die Geschwindigkeit eine geringere, die Vermischung eine bedeutendere wird. Will man mittels einer einzigen von der Decke abgehenden Röhre einen in hohem Grade besseren Luftwechsel erzielen, so theile man durch eine dünne verticale Wand die Röhre in zwei Röhrenhälften. Der geringste Temperaturüberschuss in der einen Hälfte bewirkt eine constante Strömung durch diesen Theil aufwärts, durch den anderen Röhrentheil abwärts. Der Widerstand der Reibung an der Scheidewand tritt nun bei Weitem nicht so hinderlich auf, als die gegenseitige Reibung der beiden entgegengesetzten Luftströme; denn die Reibung an der Wand veranlasst nun keine Vermischung der beiden Ströme, und die Druckhöhe wächst nun auch mit der Höhe der Röhre. Führt man die Scheidewand auf eine kurze Strecke in den Raum unter die Decke hinab, und versieht das Ende derselben mit einem horizontal auslaufenden Schirme, einer Scheibe oder Platte, so verhindert man auf diese Art nicht nur die Vermischung und Reibung beider Luftmassen an der Mündung, sondern erzielt dadurch im Raume selbst eine sehr regelmässige nicht belästigende Strömung, indem die einfliessende kalte Luft zunächst gegen die Wände geleitet wird und von da an den Boden fliesst; auf der anderen Seite gelangt die wärmste schlechteste Luft ungestört in die Röhre.

Eine ähnliche Einrichtung ist auch an der obersten Mündung der Röhre zweckmässig, und man kommt in dieser Weise auf die Anwendung des in Fig. 153 dargestellten Apparates, wobei man sich die hängende Tafel nur als Scheidewand durch die ganze Röhre fortgesetzt zu denken hat (Fig. 163). Eine Erweiterung der Scheidewand über dem oberen Röhrenrande und eine einfache Ueberdeckung würde bei gewissen Richtungen des Windes schon sehr zweckmässig sein. Bei sehr vielen anderen Windrichtungen aber, nämlich bei solchen, die gegen den Horizont stark geneigt sind, aufwärts oder abwärts gehen, würde die

saugende Wirkung des Windes in beiden Röhrenhälften überwiegend sein über die pressende Wirkung, was allerdings den Luftzufluss nicht anhaltend verhindern, aber doch verzögern müsste. Da dieses auch bei der gezeichneten Vorrichtung stattfindet, wenn der Wind die mit der Scheidewand parallele Richtung hat, so wird man, um die Wirkungen des Windes bei jeder Richtung möglichst für die Ventilation zu benützen, den in Fig. 156 skizzirten vierfachen Saug- und Druckventilator vorziehen. Anstatt der einen Scheidewand erhält dann die Röhre zwei sich rechtwinkelig begegnende Wände, eine Kreuzwand. Durch zwei Viertel der Röhre wird nun in der Regel, wenn der Raum sonst gut geschlossen ist oder der Wind kräftig pressend und saugend wirkt, die kalte Luft einfliessen, durch die zwei anderen die warme Luft ausfliessen. Die Scheibe an der unteren Mündung kann je nach dem Wunsche des Bauherrn oder nach dem Zwecke des Raumes mehr oder weniger zierlich als architektonisches Ornament behandelt werden.

Fig. 168.



Um die Dimensionen der Röhre zu berechnen, hat man für den ungünstigsten Fall, unter der Voraussetzung nämlich, dass in der Atmosphäre Windstille stattfände, nur die Wirkung der Temperaturdifferenz zu Grunde zu legen; dabei ist die Druckhöhe gleich der Höhe der Ventilationsröhre anzunehmen. Ich sehe mich veranlasst, hier ausdrücklich zu bemerken, dass die Druckhöhe in diesem Falle, wenn nämlich das Vorhandensein der beiden entgegengesetzten Luftströme vorausgesetzt wird, nicht „die Höhe vom Boden des Raumes bis zur Spitze der Röhre“ ist, dass die Höhe des Raumes selbst nicht in solcher Weise in die Rechnung kommen kann, wie man dieses bei ähnlichen Anlagen in verschiedenen Schriften findet. Die Luftschichten im gut geschlossenen Raume, der durch eine oder mehrere Röhren, deren Mündungen an der Decke liegen, ventilirt werden soll, suchen sich unter sich selbst ins Gleichgewicht zu setzen; die verticalen Luftsäulen, welche unter sich nicht ins Gleichgewicht kommen können und desswegen die verticale Bewegung veranlassen, sind nur die zwei Luftmengen von verschiedener Temperatur über jener Stelle, wo sich beide

gegenseitig berühren und begrenzen, ohne sich zugleich durch entgegengesetzte Strömung in der Bewegung zu hindern, hier also je die beiden Luftsäulen in der verticalen Röhre. Man könnte einwenden, dass folglich durch eine ungetrennte Oeffnung oder Röhre an der Decke des Raumes die warme Luft gar nicht ausfliessen würde, weil alsdann die Druckhöhe $H =$ Null ist, also auch die Geschwindigkeit c, etwa in der Gleichung $c = \frac{1}{4}\sqrt{H}$, Null werden müsse. Dieser Zustand der Ruhe würde auch in der That bestehen, wenn man von der Verschieblichkeit der Lufttheilchen absehen und annehmen könnte, dass die gegenseitige Begrenzungsfläche zweier Flüssigkeiten überhaupt, von welchen sich die specifisch schwerere oben befindet, horizontal sein könnte. Da dieses nicht einmal für einen Augenblick stattfinden kann, so ist der abwärts gerichtete Druck der äusseren Luft auf die Luftsäule in einer ungetheilten Röhre, sowie der Druck dieser Säule an der unteren Röhrenmündung, wenn die Röhre mit kalter Luft gefüllt ist, auf die Luft des Raumes ein ungleicher, wenn auch nur sehr wenig verschiedener. Diese kleine Differenz des Druckes ist aber bei der ausserordentlichen Beweglichkeit der Luft hinreichend, eine grössere Störung des Gleichgewichts, den Ausfluss der warmen Luft zu veranlassen. Solche verhältnissmässig geringe Störungen des Gleichgewichts können übrigens, sobald einmal eine bestimmte constante Druckhöhe durch getrennte Luftsäulen gegeben ist, unberücksichtigt bleiben.

Bei Anwendung des genannten Saug- und Druckventilators wird die Wirkung fast immer eine grössere sein, als die Rechnung nach den Temperaturdifferenzen für die entgegengesetzte Strömung ergiebt, weil eigentliche Windstille in der Atmosphäre nicht vorkommt, ein mässiger Wind aber schon ziemliche Wirkung hervorbringt und weil überdies, wenn der Raum schon unten reichlichen Luftzufluss erhält, durch sämmtliche Röhrenabtheilungen die warme Luft entweicht und dabei die Druckhöhe grösser ist.

Um den Regen aus dem zu ventilirenden Raume abzuhalten, lassen sich bei der Anwendung obiger Apparate einfache Nebeneinrichtungen treffen, welche die Hauptwirkung nicht erheblich stören. Solche Mittel wird der Architekt nach den jeweiligen baulichen Verhältnissen leicht auffinden, ohne dadurch gegen die Anforderungen des Schönheitsgefühls zu verstossen. Uebrigens ist die Zweckmässigkeit die erste Bedingung einer jeden Einrichtung; kann alsdann noch mit möglichst geringen Mitteln der ästhetischen Seite Rechnung getragen werden, so ist es freilich um so besser; solche Abänderungen oder Zuthaten bei den ein-

zelnen Apparaten können den speciellen Anforderungen, dem speciellen Geschmacke überlassen bleiben, nachdem die leitenden Prinzipien einmal festgestellt sind.

§. 141.

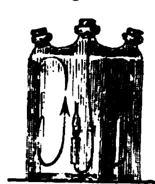
Experimente zur Erläuterung des Vorhergehenden.

Um den verhältnissmässigen Effect der obigen Einrichtungen anschaulich zu machen, stellte ich folgende Versuche an, welche ich in verschiedenen Zeitabständen wiederholte. Die Zeiten, welche bei den folgenden Erscheinungen in Secunden oder Minuten angegeben werden, sind durchschnittliche Werthe aus mehreren unter denselben Verhältnissen beobachteten Werthen.

Erstes Experiment. — Die beiden Seitenöffnungen der in Fig. 162 dargestellten Flasche verschloss ich mit Korkstöpseln, befestigte an einem dritten grösseren Korkstöpsel, welcher in die mittlere Oeffnung passte, einen Draht, welcher etwas kürzer als die Höhe der Flasche war und an dem unteren Ende eine kleine Wachskerze trug. Die lebhaft brennende Kerze liess ich durch die mittlere Mündung in die Flasche hinab und drückte den Kork fest ein. Die Flamme blieb etwa 20 Secunden lang gleichmässig intensiv, wurde alsdann immer weniger leuchtend und war nach einer Minute erloschen.

Zweites Experiment. (Fig. 164.) — Nachdem die Flasche längere Zeit an den drei Mündungen offen gewesen, damit sie sich leichter abkühle, und noch durch Einblasen mittels eines Blasebalges die schlechte Luft aus der Flasche entfernt war, blies ich etwas Cigarrenrauch in die Flasche, verschloss dieselbe und brachte die brennende Kerze wie vorher ein; dieselbe brannte fast ebenso hell und ebenso lange wie vorhin, und durch den vorhandenen Rauch konnte man nun die Luftbewegung in der Flasche deutlich wahrnehmen. Der Rauch gerieth in der ganzen Flasche in lebhafte Circulation, floss an den Wänden rings in der Flasche herab, gegen die Mitte, hier in die Flamme und die Flamme umgebend empor, sodann wieder gegen die Flaschenwand u. s. w.

Fig. 164.



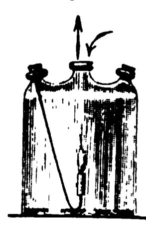
Drittes Experiment. (Fig. 165.) — Die brennende Kerze wurde an einer der Seitenöffnungen eingebracht, und nur die mittlere Mündung blieb offen. Die Flamme erlosch nach

27*

2 Minuten. Mit Hülfe von Rauch war eine geringe Doppelströmung an der Mündung zu erkennen.

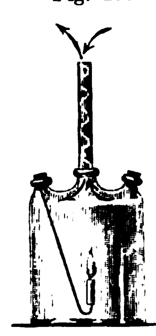
Viertes Experiment. (Fig. 166.) — Auf die mittlere Oeffnung wurde eine Glasröhre von 24 Centimeter Länge aufgesetzt, deren Querschnitt im Lichten dem lichten Querschnitte des Flaschenhalses an der engsten Stelle gleich war. Die Flamme erlosch nach 90 Secunden. Wurde in die Flasche vorher etwas Rauch gebracht, so konnte man in der Röhre den Kampf der beiden sehr schwachen Luftströmungen dadurch erkennen, dass sich der Rauch nach einer Schraubenlinie in der Röhre aufwärts bewegte.

Fig. 165.



Fünftes Experiment. — Die in der Mitte aufgesteckte Röhre wurde durch einen Streifen aus Pappe nach ihrer ganzen Länge in zwei gleiche Theile getrennt. Die Flamme schien nach etwa 2 Minuten zu erlöschen, erholte sich aber wieder, brannte abwechselnd düster und hell, erlosch nach etwa 4 Minuten. Mittels Rauches war in dem einen Röhrenraume eine abwärts gerichtete, im anderen eine aufwärts gerichtete Luftbewegung ersichtlich, beiderseits gleichmässig und ruhig.

Fig. 166.



Sechstes Experiment. — Die in der Mitte aufgesteckte Röhre erhielt eine Scheidewand, welche 4 Centimeter unter die untere Mündung und auch 2 Centimeter über die obere Mündung hervorragte, wodurch die gegenseitige Pressung, Reibung und Vermischung der beiden Luftströme unmittelbar an den Mündungen verhütet werden musste. (Fig. 167.) Die Flamme brannte lebhaft fort, die Rauchströmung war wie vorhin, aber viel heftiger.

Fig. 167.



Siebentes Experiment. — Die Röhre wurde durch zwei normal gegen einander gerichtete Scheidewände (Kreuzwand) von der Länge der Röhre in vier gleiche Räume geschieden. Die Flamme brannte nach 1½ Minuten düster, dann wieder heller, erlosch nach 2½ Minuten. Rauchströmung träge, je in zwei Räumen abwärts, in den zwei anderen aufwärts. Die zwei Räume mit gleicher Strömung

lagen meistens neben einander, bei einigen Versuchen aber auch einander gegenüber.

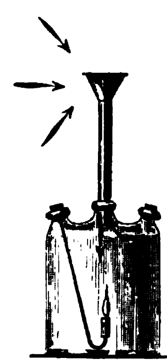
Achtes Experiment. — Die Kreuzwand wurde 2 Centimeter nur über die obere Mündung verlängert; die Flamme erlosch nach drei Minuten, brannte auch etwas regelmässiger, als vorhin.

Blies ich in horizontaler Richtung aus einiger Entfernung auch nur schwach gegen die obere Mündung, also gegen den hervorstehenden Theil der Kreuzwand, so brannte die Kerze ungestört fort. Nun wurde offenbar auf der dem Winde zugekehrten Seite die Luft in die Röhre gepresst, auf der entgegengesetzten Seite in Folge der zugleich veranlassten absoluten Luftverdünnung emporgehoben.

War der Wind schräg nach oben gerichtet, so erlosch die Flamme nach 3 bis 4 Minuten; es wurde nun augenscheinlich über der Mündung eine zu grosse Luftverdünnung erzeugt, und zugleich durch die aufwärtsgehende Bewegung des Windes die äussere Luft gehindert, in die Flasche hinabzugelangen.

Wurde dem Winde die Richtung schräg nach unten gegeben, so blieb die Flamme lange Zeit sehr intensiv, erlosch jedoch nach 6 Minuten. Durch die starke Pressung der Luft von oben wurde nun zwar eine bedeutende Menge Luft in die Flasche gebracht, allein das Ausfliessen der schlechten Luft war durch die Pressung zeitweise gehindert, im Ganzen sehr verzögert.

Fig. 168.



Neuntes Experiment. — Es wurde die mit einer um 3 Centimeter unter die untere Mündung verlängerten Kreuzwand und mit dem in Fig. 156 im horizontalen und verticalen Durchschnitte dargestellten Saug- und Druckapparate versehene Röhre auf die Flasche gebracht (Fig. 168). Die Flamme blieb bei jeder Richtung des Windes sehr intensiv. Zur Erzeuguug des Windes bediente ich mich zuerst eines kleinen Blasebalges, um eine bestimmte Richtung einhalten zu können; alsdann aber, um sehr unregelmässige Windstösse zu verursachen, fächerte ich in verschiedenen Richtungen, diese sehr plötzlich ändernd, mittels einer Papptafel gegen den Apparat.

§. 142.

Ventilation eines nicht geheizten warmen Raumes mittels zweier Oeffnungen an der Decke.

Steht ein Raum, in welchem die Luft wärmer ist, als die äussere Luft, mit dieser durch zwei genau in gleicher Höhe liegende Oeffnungen in Verbindung, so könnte man vermuthen, dass durch jede dieser beiden Oeffnungen warme Luft hinaus- und kältere Luft einfliesse. Dieses müsste in der That der Fall sein, wenn die Luftmassen, welche beide Oeffnungen umgeben und füllen, sich unter vollständig gleichen Verhältnissen befänden. Das ist aber nie der Fall, und der geringste Unterschied dieser Verhältnisse, etwas grössere Wärme oder ein geringer Windstoss an der einen Oeffnung bewirkt, dass die Strömung durch die eine Oeffnung nur herein, durch die andere nur hinaus gerichtet vor sich geht. Wenn eine Oeffnung an der Decke des Raumes mit einer verticalen Röhre versehen und diese Röhre durch eine verticale Scheidewand in zwei Räume getrennt ist, so hat man ebenfalls zwei gleich hoch liegende Ventilationsöffnungen, nur mit den besonderen Eigenschaften, dass dieselben einander sehr nahe, in einer grösseren Oeffnung vereinigt liegen, dass jede der beiden Oeffnungen wechselweise bald Zuflussöffnung, bald Ausflussöffnung ist, dass endlich die beiden Röhrenräume gleiche Höhe haben. Eine allgemeinere Untersuchung für die Ventilation mittels zweier Oeffnungen an der Decke wird desshalb durch die bereits behandelten Fälle nicht überflüssig geworden sein.

Nimmt man an, die beiden Oeffnungen liegen in einer und derselben verticalen Wand direct unter der Decke, so wird für einige Zeit eine regelmässige Strömung fortbestehen; die kalte Luft fliesst durch die eine Oeffnung ein, fliesst an den Boden und gelangt, allmählich erwärmt und durch die beständig nachfliessende kalte Luft gehoben, in immer höhere Schichten des Raumes, während zu gleicher Zeit beständig durch die andere Oeffnung die wärmste Luft verdrängt wird. Trifft nun ein Wind gegen die Wand, so kann es sich sehr leicht ereignen, dass an der gegenwärtigen Ausflussöffnung die Luft etwas stärker gepresst wird, wie an der Zuflussöffnung; eine augenblickliche Umkehrung der Strömung, die dann bis zu weiterer Störung diese Richtung beibehält, muss die unmittelbare Folge davon sein. Dasselbe gilt auch, wenn der Wind irgend eine andere Richtung hat, auch wenn die Wand mit den Ventilationsöffnungen vom Winde

abgekehrt liegt; die absolute Luftverdünnung kann alsdann an der bisherigen Zuflussöffnung stärker sein, als an der Abflussöffnung, der Strom wird dadurch ebenfalls sogleich umgekehrt.

Liegen die beiden Oeffnungen wieder unmittelbar unter der Decke, aber in zwei verschiedenen, besonders in zwei gegenüberliegenden Wänden, so wird die Strömung eine viel constantere sein. Ist nämlich durch die Einwirkung der Sonne oder durch andere Einflüsse die Luft auf der einen Seite auch nur wenig wärmer, so übt die kältere äussere Luft auf der anderen Seite einen grösseren Druck auf die Luft des Raumes aus, hebt dieselbe durch die auf der wärmeren Seite liegende Oeffnung hinaus, während sie, die kältere Luft, nach dem Boden des Raumes einfliesst. Auch die Einflüsse des Windes sind entschiedener und beständiger bei dieser Einrichtung, da der Wind doch längere Zeit hindurch nahezu dieselbe Richtung behält. Ein- für allemal lässt sich doch auch hier nicht sagen, welche der beiden Oeffnungen dauernd für den Zufluss, welche für den Abfluss bestimmt sein soll.

Nicht anders ist es, wenn von zwei gleich hoch liegenden Stellen der Decke zwei gleich hohe Röhren über das Dach emporgeführt werden; denn auch hier sind die Einflüsse der Sonne und des Windes nach den Zeiten verschieden. Die wechselnde Strömung kann dadurch nachtheilig oder wenigstens unangenehm werden, dass, wenn der Strom einmal in gewisser Richtung im Gange ist, immer einige Zeit vergeht, bis der Strom die andere Richtung mit derselben Schnelligkeit verfolgt, so dass also die Ventilation momentan gehemmt wird, im Ganzen folglich, wenn solche Störungen sich häufig wiederholen, die gewünschte Menge reiner Luft in gewisser Zeit nicht zugeführt wird.

Weitere Unannehmlichkeiten können darin bestehen, dass man sich hiebei nicht so leicht vor dem abwärtsgerichteten Strome durch die Wahl eines bestimmten Platzes schützen kann, wenn nicht noch besondere, allerdings sehr einfache Einrichtungen diesem Umstande vorbeugen; mehr noch wird der Umstand von Wichtigkeit, dass häufig auf der einen Seite ausserhalb eines Raumes eine viel reinere Luft vorhanden ist, als auf der anderen. Es sind desswegen jene Einrichtungen vorzuziehen, bei welchen sich die Richtung der Strömung mit Bestimmtheit voraussehen lässt.

Macht man die eine Röhre bedeutend höher als die andere, so geschieht die Strömung entschieden in der höheren Röhre aufwärts, in der anderen abwärts, vorausgesetzt, dass beide

Röhren gleichen äusseren Einflüssen ausgesetzt, auch von nahezu gleicher Beschaffenheit sind.

Als kürzere Röhre kann hiebei auch eine einfache Oeffnung an der Decke gelten (Fig. 169), auch ein kleiner oder grösserer horizontaler und sogar nach der Decke des Raumes von unten emporgeführter Kanal. Die Störungen, welche durch den Wind und auf andere Weise herbeigeführt werden hönnten, lassen sich durch Anwendung der früher angeführten Druck- und Saugapparate aufheben, der Wind ist sogar dem Austausche der Luft in sehr hohem Grade förderlich, wie bereits hinlänglich bewiesen.

Fig. 169.



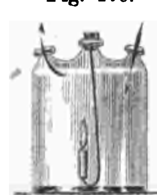
Für die Berechnung der Geschwindigkeit, alsdann der Ausflussmenge, der nöthigen Querschnitte für die Oeffnungen und Röhren u. s. w. gilt die Höhe von der Decke bis zur oberen Mündung der Röhre, bei zwei Röhren die Höhe der grösseren Röhre als die Druckhöhe.

§. 143.

Erläuternde Experimente.

(Fig. 170.) Durch die mittlere Mündung der Flasche brachte ich die brennende Kerze ein und liess die beiden Seitenmündungen offen. Dieselben lagen nun allerdings nicht ganz an den höchsten Punkten der Decke, jedoch in gleicher Höhe, so dass dieser Umstand keinen weiteren Einfluss hat, als dass eine geringe warme Luftschicht gegen den mittleren Hals der Flasche hin abgesperrt bleibt, was aber in Bezug auf gegenwärtige Untersuchungen ohne Bedeutung ist. Nach zwei Minuten war die Flamme düster, nach drei Minuten drohte sie zu erlöschen; dieses geschah immer nach 2 bis 3 Minuten, während in der Zwischenzeit die Flamme sich bis zu ihrer ursprünglichen Intensität erholte. Dieser Wechsel währte bei einigen Versuchen fast eine Stunde; bei einigen Versuchen dagegen war die Flamme nach etwa 10 Minuten erloschen. Die Anwendung des Rauches zeigte immer nur an der einen Mündung den Ausfluss. Wenn man jedoch auch nur momentan sehr leise von oben nach unten schräg dem Ausflusse ent-

Fig. 170.



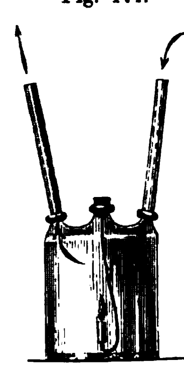
gegen blies, kam der Rauch anhaltend aus der anderen Mündung hervor. Blies ich dagegen in schräger Richtung von unten nach oben über die Zuflussöffnung hinweg, so kam augenblicklich der Rauch aus dieser Oeffnung hervor, und der Strom behielt diese Richtung so lange, bis ich wieder eine neue Störung veranlasste.

Vergleicht man dieses Experiment mit dem dritten in §. 141, so erkennt man, dass zwei getrennte Oeffnungen, wenn auch in gleicher Höhe und nicht gerade nothwendig am höchsten Punkte, einen besseren Luftwechsel gestatten, als eine einzige Oeffnung.

Die Flamme war bei dem dritten Experimente schon nach zwei Minuten erloschen, hier nie vor der zehnten Minute, und doch ist die Weite der mittleren Mündung fast gleich der Summe der beiden Seitenöffnungen. Dieser Umstand erklärt sich sehr einfach daraus, dass früher die beiden einander in der Mündung begegnenden Luftmassen sich selbst durch Reibung und Vermischung gegenseitig hindern mussten, und dass ferner, weil deren horizontale Druckkräfte gegenseitig zur Wirkung kamen, eine bestimmte Druckhöhe nicht vorhanden war, während im letzten Falle die gegenseitige Reibung und Vermischung der Ströme nicht vorhanden ist und überdies noch eine bestimmte constante Druckhöhe, nämlich die Höhe der Mündungsansätze als Factor der Bewegung auftritt.

(Fig. 171.) Auf die beiden Seitenmündungen brachte ich zwei gleich lange Röhren; das Licht wurde sehr lebhaft bewegt und leuchtete sehr intensiv. Etwas Rauch, welcher sanft über die eine Oeffnung hingeblasen wurde, stieg über der Mündung grossentheils in die Höhe; ebenso über die andere Röhre hinweggehaucht, wurde er mit Heftigkeit hinabgerissen, floss zunächst an den Boden und vertheilte sich von da allmählich im Raume. Trotz der Heftigkeit der Strömung konnte ich dieselbe sogleich umkehren, wenn ich die betreffende Zuflussröhre nur mit der warmen Hand umfasste, oder von unten nach oben gegen dieselbe blies, oder auch, wenn ich von oben herab, nur leise dem Ausflusse entgegenblies. So lange die Strömung nicht in solcher Weise absichtlich gehemmt wurde, behielt sie immer die einmal angenommene Richtung.

Fig. 171.



(Fig. 172.) Die eine der beiden Röhren ersetzte ich durch eine kürzere. Die Kerze brannte so lebhaft fort wie vorher, und auch an der Rauchströmung war keine Aenderung zu

bemerken, doch ging dieselbe beständig durch die längere Röhre empor.

Wenn ich durch starke Erwärmung der kürzeren Röhre, oder durch abwärtsgerichtetes Blasen an der höheren Mündung, durch aufwärtsgerichtetes an der tieferen den Rauch zum Ausfliessen aus dieser brachte, so nahm der Strom doch alsbald von selbst wieder seine erste Richtung an, nämlich durch die längere Röhre aufwärts. Brachte ich anstatt der kürzeren Röhre gar keine Röhre an, so war die Erscheinung in der Hauptsache dieselbe. Der Rauch stieg mit ungeschwächter Heftigkeit aus der längeren Röhre auf; der über die niedere Mündung gehauchte Rauch floss ebenfalls an den Boden hinab, aber mehr Wolken ähnlich, nicht mehr einen so bestimmten geradlinigen Strahl bildend, wie bei der Anwendung einer Röhre, wo der Rauch die in der Röhre angenommene Richtung vermöge der Inertie noch durch den ganzen Raum beibehielt.

Fig. 172.



Die Versuche, welche ich ferner noch mit der geschwärzten Röhre in der Sonne, mit nassen Röhren in der Sonne und im Schatten, mit den Modellen der Saug- und Druckapparate unter Einwirkung des Windes anstellte, sind den schon früher angeführten Versuchen so ähnlich, dass es überflüssig ist, dieselben hier anzuführen; es mag in dieser Beziehung nur bemerkt werden, dass die schon früher aus jenen Erscheinungen gezogenen Regeln auch hiebei ihre Bestätigung fanden.

§. 144.

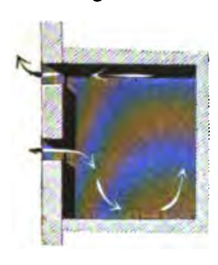
Ventilation eines nicht geheizten warmen Raumes mittels zweier Oeffnungen in verschiedener Höhe.

Liegt von zwei Oeffnungen, durch welche die Luft eines warmen Raumes mit der Atmosphäre in Verbindung steht, die eine tiefer als die andere, so geschieht die durch die Temperaturdifferenz veranlasste Strömung immer so, dass durch die tiefere Oeffnung, weil an dieser die Resultirende des äusseren Druckes grösser ist, als weiter oben, die kältere Luft einfliesst, zunächst die untersten Schichten des Raumes einnimmt und die wärmere Luft desselben durch die obere Oeffnung verdrängt (Fig. 173).

Nun können freilich, besonders wenn diese Mündungen an ver-

schiedenen Wänden angebracht, etwa auch mit Röhren und Kanälen in Verbindung gesetzt sind, äussere Luftströmungen auch hier die Richtung der Bewegung umkehren, dieselbe momentan hemmen. Doch nimmt die Luftbewegung im Raume nach dem Aufhören dieser störenden Einflüsse ihre erste Richtung von selbst wieder an.

Fig. 173.



Durch die bekannten Druck- und Saugventilatoren werden solche störende Einflüsse leicht in vortheilhafte umgewandelt.

Die Druckhöhe H ist für die Berechnungen nach der Temperaturdifferenz der verticale Abstand des Mittelpunktes der unteren Oeffnung, Zuflussöffnung im Raume von dem Mittelpunkte der Abflussmündung an der Atmosphäre. Daraus geht hervor, dass man unter sonst gleichen Umständen einen um so grösseren Effect erreichen kann, je weiter die Horizonte dieser beiden Mündungen auseinander liegen. Aus diesem Grunde wird man die eine Oeffnung an der Decke, die andere am Boden anbringen (Fig. 174) und ausserdem noch, wenn es darauf ankommt, einen möglichst grossen Effect zu erreichen, die Mündung an der Decke des warmen Raumes mit einer möglichst hohen Röhre verbinden.

Ob die kältere Luft, direct durch eine Oeffnung in der Wand oder durch einen horizontalen, schrägen, von unten herauf- oder von oben herabgeführten Kanal zugeleitet wird (Fig. 175, Fig. 176),

Fig. 174.

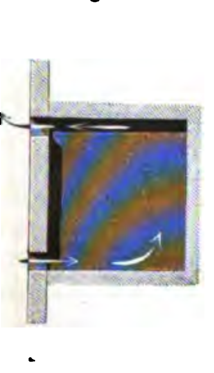


Fig. 175.

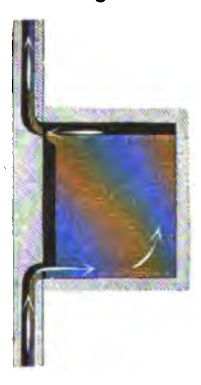
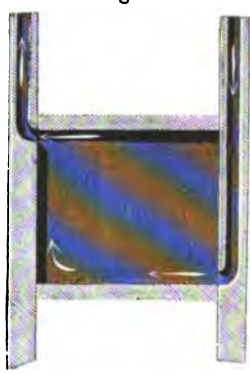


Fig. 176.



ist in Bezug auf die Druckhöhe gleichgültig, wenn die Luft in diesem Kanale, von derselben Temperatur, demselben specifischen Gewichte, wie die äussere Luft, mit dieser im Gleichgewicht ist, und nur

durch die Verminderung des Druckes an der Kanalmündung im Raume zur Bewegung im Kanale veranlasst wird. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass durch die Widerstände der Bewegung in sehr langen Zuleitungskanälen die Geschwindigkeit verzögert wird.

Die Temperatur der Luft in den langen Kanälen hängt aber, wie die Temperatur der sie einschliessenden Mauern grossen Theils von den verschiedenen Temperaturen der Räume ab, welche von den Mauern umgrenzt werden, sowie von der Lage und der vorausgegangenen Witterung. Es wird sich demnach selten treffen, dass die Luft in den langen Zuführungskanälen das specifische Gewicht der Aussenluft hat, und dass in den langen Abflusskanälen die Luft der zu ventilirenden Räume ohne Veränderung ihres specifischen Gewichtes weiter fliesst.

Hohe Temperatur der Mauern ist bei der in Fig. 175 dargestellten Einrichtung für den Luftwechsel durchaus günstig, bei der in Fig. 176 dargestellten in Bezug auf den Zuführungskanal ungünstig. Niedere Temperatur der Kanäle dagegen vermindert den Luftwechsel durch beiderseitige Gewichtsvergrösserung in den Steigkanälen bei der ersten, vermehrt ihn aber durch Vergrösserung des Luftgewichts in der fallenden Zuflussröhre bei der zweiten Einrichtung.

Diese Verhältnisse äussern ihre Einflüsse hier in umgekehrter Weise wie bei der Ventilation kalter Räume.

Folglich ist, wenn der wirkliche Luftwechsel dem berechneten unter allen Umständen möglichst entsprechen soll, die Einrichtung von Fig. 174 den beiden andern vorzuziehen.

Bei den hier dargestellten Einrichtungen fliesst die kalte Luft am Fussboden des Raumes ein. Wenn nun auch hierdurch unter sonst gleichen Umständen der Luftwechsel am schnellsten und vollständigsten erreicht wird, so ist doch auch zu berücksichtigen, dass diese Einrichtung für Personen, welche sich in der Nähe der Einströmungsöffnungen aufhalten müssen, unangenehm werden kann. Diese Belästigung wird schon bedeutend vermindert, wenn man die kalte Luft gleichwohl noch am Boden, aber daselbst durch viele kleinere Oeffnungen anstatt durch eine grössere einfliessen lässt. Erscheint aber diese Einrichtung noch nicht hinreichend zweckdienlich, so kann man, indem man einen Theil der Druckhöhe aufgiebt, die kalte Luft nahe an der Decke und zwar fein vertheilt einfliessen lassen; zu diesem Zwecke dient eine an den Wänden oder an der Decke angebrachte beliebig lange und beliebig gekrümmte Röhre, welche mit vielen kleinen Oeffnungen versehen ist, oder auch ein entsprechend grosser flacher Kasten mit durchlöcherten Wänden. Auf solchem Wege eindringend, vertheilt sich

die kalte Luft ziemlich gleichmässig über den ganzen Raum und sinkt wie ein feiner Regen an den Boden herab. Dabei vermischt sie sich freilich in hohem Grade mit der verdorbenen Luft; die Ventilation ist also hiebei keine so vollständige, wie bei dem Einfliessen der kalten Luft am Boden, aber in vielen Fällen eine genügende.

§. 145.

Experimente.

Die brennende Kerze wurde durch eine der Seitenöffnungen in die Flasche gebracht, die andere Seitenmündung, sowie die mittlere blieben einfach offen (Fig. 177). Die Flamme blieb beständig sehr lebhaft, ebenso auch, wenn die mittlere Mündung durch Einlegen eines Pappstreifens auf die Weite der Seitenöffnung vermindert war; noch besser war die Wirkung, wenn durch die tiefere Mündung eine Röhre eingebracht wurde, welche bis nahe an den Boden reichte. Die Rauchströmung ging ziemlich schnell und entschieden vor sich, immer durch die mittlere Oeffnung empor; wurde durch saugendes oder pressendes Blasen die Strömung umgekehrt, so regulirte sich dieselbe doch sehr bald von selbst wieder.

Fig. 177.

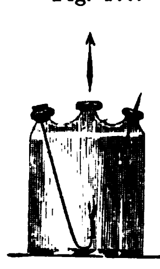


Fig. 178.

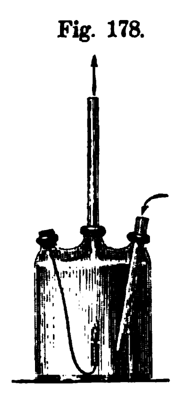
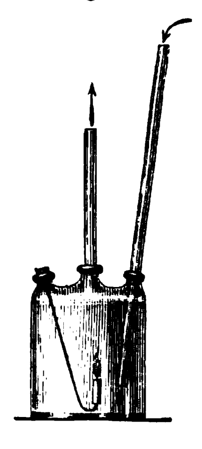


Fig. 179.



Aeusserst lebhaft war die Flamme und die Rauchströmung, wenn ich in die mittlere Oeffnung eine aufwärtsgehende, in die tiefere Seitenöffnung eine abwärtsgehende Röhre brachte (Fig. 178). Wurde die Zuflussröhre auch in dieselbe oder in noch viel grössere Höhe emporgeführt, wie die Abflussröhre (Fig. 179), so war doch keine Verminderung des Effectes wahrzunehmen.

§. 146.

Ventilation nicht geheizter warmer Räume durch Benutzung ausserhalb liegender Feuerungsanlagen.

Die vermöge der Differenz zwischen der Temperatur der abzuführenden und der äusseren Luft vor sich gehende Ventilation eines warmen Raumes kann unter gewissen Umständen bei mässig grossen Querschnitten der Ventilationsröhren nicht hinreichend sein; oder es kann sich ergeben, dass in Folge nicht vorausgesehener Fälle zu gewissen Zeiten die zu- und abgeführte Luftmasse eine bedeutend grössere sein muss, als diejenige Luftmenge, für welche die Einrichtung ausgeführt ist. Eine Erweiterung oder Vermehrung der Kanäle soll oder kann nicht mehr stattfinden; auf die Vergrösserung des Effectes durch Benützung des Windes will man sich vielleicht nicht verlassen, weil dessen Wirkung zu gewissen Zeiten sehr gering ist, und es sich gerade ereignen kann, dass man zu solchen windstillen Zeiten einen besseren Luftwechsel nothwendig hat. Auch die Erhöhung der Ventilationsröhren ist vielleicht nicht mehr zulässig, wodurch ein Factor für die Geschwindigkeit der Luftbewegung hätte vergrössert werden können. Complicirtere Maschinen für das Aussaugen oder Einpressen der Luft, mechanische Ventilatoren, sollen oder können vielleicht ebenfalls nicht angebracht werden. — Unter diesen Umständen bleibt zur Beschleunigung der Luftbewegung noch ein Mittel, welches schon bei der Ventilation kalter Räume unter der Erde angegeben worden ist. Steht die Benützung eines nahen sehr warmen Schornsteins zur Verfügung, so führe man den Abfluss aus dem zu ventilirenden Raume in diesen Schornstein. Noch besser ist es, wenn die aus dem Raume abgeführte Luft direct in den gut geschlossenen Feuerraum geleitet wird, zur Unterhaltung des Feuers dient, vorausgesetzt, dass die Art der Feuerung sich hierfür eignet. Ist man nicht in der Lage, eine für andere Zwecke bereits bestehende Feuerung zu benützen, muss man also die Feuerungsanlage speciell zum Zwecke der besseren Ventilation ausführen, so kann man, um mit dem einmal doch nothwendig aufzuwendenden Brennmateriale einen möglichst grossen Effect zu erzielen, den Wärmeapparat in folgender Weise ausführen:

Man treffe die Einrichtung, dass das Feuer, sobald es einmal im lebhaften Brennen begriffen, nur noch durch die abzuführende Luft genährt wird. Zu diesem Zwecke muss die Heizthür sehr dicht geschlossen werden können, ebenso der Aschenfall. Den Feuerraum umgebe

man mit einer doppelten Wand, lege denselben gewissermassen in einen Kasten aus Metall, Thon oder Mauerwerk, in welchen der übrige nicht zur Nahrung des Feuers erforderliche Theil der abzuführenden Luft eingeführt wird. Die Abflussröhre der erhitzten Luft aus dem Kasten kann kurz über demselben mit der Rauchröhre zusammenmünden, die alsdann noch möglichst hoch emporgeführt wird. Besteht der Heizkasten und die Rauchröhre nicht schon aus einem Materiale, welches die Wärme wenig ableitet, so umgebe man diese Gegenstände noch mit einem schlechten Wärmeleiter; etwa mit Lehm, Sand oder Asche; auf diese Weise wird fast die ganze Wärme, welche aus dem Brennstoffe gewonnen werden kann, zur Erhöhung der Temperatur der abzuführenden Luft, also zur Beschleunigung der Ventilation benützt. Wollte man, von der Ansicht ausgehend, dass die Luft der schlechteste Wärmeleiter sei, die Luft in dem den Feuerraum umgebenden Kasten abgesperrt halten, und nur dem Feuer die abzuführende Luft zuleiten, so würde man denselben Effect nicht erreichen, und zwar einmal desswegen, weil bei einer zu grossen Menge der in den Feuerraum fliessenden Luft der Verbrennungsprocess kein so vollständiger ist, weil ferner eine ruhige Luftmasse, die als schlechter Wärmeleiter gelten könnte, hier wenigstens nicht vorhanden ist. Nicht nur die Wärmestrahlen liesse die Luft von der inneren nach der äusseren Wand durch sich hindurch, sondern würde auch durch Strömung die Wärme in derselben Weise überführen, so dass auch die äussere Wand in sehr hohem Grade erhitzt würde. Nun aber, wenn die im Heizkasten ziemlich erwärmte Luft beständig durch die nachfliessende kältere Luft ersetzt wird, kann die Temperatur der äusseren Wand keine so hohe sein, folglich auch die Ableitung und Ausstrahlung der Wärme an die Umgebung nicht so bedeutend werden.

Die Berechnung für den Effect dieses Apparates lässt sich in ähnlicher Weise ausführen, wie es bei der ähnlichen Einrichtung für die Ventilation eines kalten Raumes unter der Erde ausführlich erörtert worden ist. — Dass die abzuführende Luft auch in den Feuerraum geleitet werden soll, habe ich an jener Stelle nicht empfohlen; denn die Ventilation eines kalten Raumes unter der Erde ist ein nicht häufig vorkommender Fall, und wo ein solcher Raum zu ventiliren ist, geschieht es gewöhnlich nur zu gewissen Zeiten und nur auf kurze Dauer; auf die Zeit, welche das Entfernen der schlechten Luft in Anspruch nimmt, kommt es gewöhnlich nicht viel an; endlich ist die Einführung der kälteren und oft kohlensäurereichen Luft dem Verbrennungsprocesse nicht förderlich, wohl aber die Zuführung der wärmeren und reineren Luft.

Der obige Apparat, welcher, wie an einem Beispiele gezeigt wurde, namentlich für die Entfernung der schlechten Luft aus Brunnenschachten zweckmässig ist, muss aber auch für diesen Zweck billig und leicht für kurze Dauer an einer beliebigen Stelle auszuführen oder leicht zu transportiren sein, während im gegenwärtig behandelten Falle die Einrichtung eine bleibende sein soll, desswegen auch complicirter sein darf, sobald damit andere wesentliche Vortheile zu erreichen sind.

§. 147.

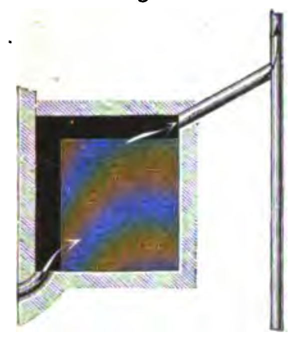
Ueber die Ableitungskanäle der warmen Luft. Heberförmige Luftleitungen.

Unter Ableitungskanal der warmen Luft verstehe ich im Laufe der folgenden Untersuchungen nur den Verbindungskanal, durch welchen die warme Luft von der Decke des zu ventilirenden Raumes nach einer verticalen oder nahezu verticalen Steigröhre, einem Schornstein, einer Zugesse, geführt wird. Dass ein solcher Kanal wegen der Hindernisse der Bewegung sowohl, wie wegen des Wärmeverlustes innen glatt, aus einem die Wärme wenig ableitenden Materiale gefertigt oder von einem schlechten Wärmeleiter umgeben sein soll, dass ferner Verengungen und scharfe Krümmungen zu vermeiden sind, das Alles ist an sich hinlänglich klar. Die Richtung aber, in welcher unter verschiedenen Umständen ein solcher Kanal geführt werden darf, das ist eine Frage, die von verschiedenen Seiten verschieden beantwortet wird. Leider hat man häufig bei solchen Behauptungen einen speciellen Fall vor Augen und glaubt, zu wenig mit theoretischen Prinzipien vertraut, das Ergebniss des speciellen Falls als allgemeines Resultat aussprechen zu dürfen. Einige behaupten, ein Kanal, welcher warme Luft ableitet, dürfe wohl schräg aufwärts und horizontal, nirgends aber abwärts geführt werden, weil an der abwärts gewendeten Krümmung ein pneumatischer Abschluss gebildet werde. Nach anderen ist es zulässig, den Kanal auch abwärts zu führen, als Grenze der Tiefe der möglichen abwärtsgehenden Bewegung wird aber der Horizont angenommen, bis zu welchem die warme Luft in dem erwärmten Raume selbst herabreicht.

Die früher behandelten Gesetze über das Gleichgewicht und die Bewegung flüssiger Körper geben hierüber Aufschluss; doch mag an dieser Stelle die Frage in Bezug auf die Leitung der warmen Luft ein Gegenstand weiterer Untersuchung zu werden verdienen.

Ist ein abgeschlossener Raum (Fig. 180) mit warmer Luft gefüllt, wird die äussere kalte Luft am Boden zugeführt und beständig in dem Raume erwärmt, wird alsdann die warme Luft in einen warmen Schornstein geleitet, und zwar durch einen von der Decke des Raumes aus *schräg aufwärts gerichteten Kanal*; so gilt *als Druckhöhe die Höhe vom Boden des Raumes bis zur obersten Mündung des Schornsteins.* Für genauere Berechnungen der Ausflussgeschwindigkeit u. s. w. müsste zunächst die mittlere oder resultirende Temperatur der Luft im Raume, Kanale und Schornstein nach den Verhältnissen der entsprechenden Höhen berechnet werden, wie weiter oben angegeben. Hier werde jedoch nur die Frage berücksichtigt, ob überhaupt die Luftbewegung nach der gewünschten Richtung unter allgemeineren Annahmen erfolge. Im vorliegenden Falle muss diese Frage bejaht werden, selbst wenn die Luft im Schornstein nicht wärmer ist, als die äussere Luft. Ist der Kanal *horizontal* (Fig. 181), so muss ebenfalls entschieden die gewünschte Bewegung erfolgen.

Fig. 180.



Ist der Kanal abwärts geführt (Fig. 182), hat die Luft im Kanal und im Schornstein vorerst die äussere Temperatur, und wird auch angenommen, dass nicht durch andere Einwirkungen die Luft im Schornstein bewegt werde, *so wird die warme Luft in dem Kanale herabfliessen*, aber nur so weit, bis das Niveau der kalten Luft im Kanale

Fig. 181.

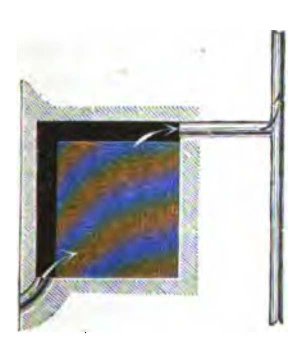
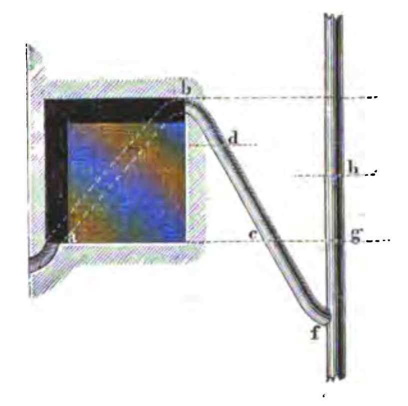


Fig. 182.



mit dem Niveau der kalten Luft im Raume, das ist mit der Zuflussöffnung der kalten Luft oder dem Boden des Raumes in einer Horizontalen liegt. Man stelle sich anstatt des warmen Raumes den Schenkel *a b* eines Hebers vor, den ganzen Heber *abc* mit Luft gefüllt und von Wasser umgeben. Nun könnte die Luft im Heber nur dann in Ruhe sein, wenn sie in beiden Heberschenkeln gleich tief, oder was dasselbe ist, wenn das Wasser in denselben gleich hoch steht. Nimmt man an, im Schenkel *b c* stehe das Wasser bis *d*, im Schenkel *a b* nur an der Mündung *a*, so ist die aufwärtsgerichtete Pressung des Wassers auf die Luft in *a* grösser, als in *d*, weil die Druckhöhe in *a* grösser ist. Das Wasser müsste also in *a* empor-, von *d* aus herabfliessen, bis das Wasser in beiden Schenkeln gleich hoch stände. Anstatt Wasser setze man kalte Luft, statt Luft nun warme Luft. Nach der Annahme befindet sich im ganzen Raume nur warme Luft, und die über *a* emporfliessende kalte Luft wird sofort erwärmt. Es muss nun auch die kalte Luft im Schenkel *bc* bis *c* herabsinken, weil erst dann auf beiden Seiten die Druckhöhe der kalten Luft und somit der Druck gegen den warmen Raum hin von beiden Seiten gleich gross, die warme Luft im Raume und im Kanale im Gleichgewicht ist. Wäre die warme Luft durch eine momentane äussere Einwirkung bis *f* herabgekommen, so wird sie sogleich wieder bis *c* zurückfliessen, weil die Druckhöhe der kalten Luft bei *f* grösser ist, als bei *a*. Man sieht hieraus, dass unter den gemachten Annahmen, und wenn man von sonstigen Einflüssen absieht, der Satz richtig ist: der abwärtsgehende Kanal darf so tief hinabreichen, als die warme Luft in dem Raume, aus welchem sie abgeführt wird, hinabreicht.

Da in der Wirklichkeit die Temperatur in einem erwärmten Raume immer an der Decke etwas höher ist, als in den tieferen Schichten, sonach die in den Kanal einfliessende Luft wärmer, specifisch leichter ist, als die Luft von der mittleren Temperatur jenes Raumes, so wird die warme Luft nicht sogleich bis zur Bodentiefe *a c* im Kanale herabfliessen; während sich aber die Luftsäule im Kanale abkühlt, wird sie noch weiter und allmählich bis in den Schornstein herabgelangen. Dieser letzte Umstand kann in Rücksicht auf die viel grössere Ausflussgeschwindigkeit, welche die Ventilation verlangt, ganz ausser Acht gelassen werden; doch kann man immerhin für die theoretische Betrachtung den Raum und den Kanal in der gleichen Höhe mit Luft von derselben Temperatur gefüllt annehmen.

Es sei nun die warme Luft im Kanale durch irgend eine äussere Einwirkung in rascher Bewegung bis in den mit kalter Luft ge-

füllten Schornstein herabgekommen; dann wird die wenige warme Luft, welche in den Schornstein geflossen ist, in demselben emporgehoben, die warme Luft im Kanale wird aber wieder bis *c* zurückgedrängt. Denkt man sich die warme Luft gerade in solcher Menge in den Schornstein übergeflossen, dass sie daselbst bis *g* steht, so kann man *cfg* als neuen umgekehrten Heber betrachten, und in diesem ist nun ebenso Gleichgewicht vorhanden, wie im Heber *abc*. Die Luft im Schornstein unter *f* stört das Gleichgewicht nicht, weil sie, kälter angenommen, für sich im Gleichgewicht ist, wenn man zunächst voraussetzt, dass der Schornstein nun, wo nicht gefeuert wird, unten abgeschlossen ist. Ferner ist auch der Druck der kalten Luftsäule über *g* durch die gleich hohe äussere kalte Luftsäule, welche ihren Druck von *a* her fortpflanzt, aufgehoben; wäre die gegenseitige Begrenzungsfläche der beiden Luftsäulen in *g* vollkommen horizontal, so könnte nach den übrigen Annahmen in der ganzen Luftmasse keine Bewegung entstehen. Zufolge der leichten Verschieblichkeit der Lufttheilchen aber werden sich einige von dieser Fläche trennen, wenn auch wirklich für einen Augenblick Horizontalität eingetreten wäre, die getrennten Lufttheilchen werden emporgehoben, wonach dann die übrige Luftmenge zwischen *f* und *g* diesen folgen muss, während die Luft über *f* im Kanale auch wieder in diesem bis *c* zurückfliesst.

Ist aber einmal eine solche Menge warmer Luft in den Schornstein übergeflossen, dass sie über *g*, also über dem Horizonte des Bodens des angenommenen Raumes den Schornstein füllt, so ist der abwärts gerichtete Druck der kalten Luft in *h* nicht mehr so gross, als der von *a* her in entgegengesetzter Richtung fortgepflanzte Druck der äusseren kalten Luft, es muss eine continuirliche Bewegung der warmen Luft durch den Kanal und über dessen Einmündung am Schornstein in diesem erfolgen, bis der Raum, der Kanal und der Schornstein gar keine warme Luft mehr enthalten.

Wenn der nicht erwärmte Schornstein an seinem unteren Ende mit der Atmosphäre communicirt, so ist es nöthig, dass durch äussere Einwirkung eine viel grössere warme Luftmenge durch den Kanal in den Schornstein fliesse, um die Bewegung einzuleiten, und auch wenn diese begonnen hat, wird sie mit geringerer Geschwindigkeit vor sich gehen, als wenn der Schornstein unten abgesperrt wäre, weil nun durch den überwiegenden äusseren Druck am Fusse des Schornsteins die ganze kalte Luftsäule in demselben sich erhebt und sich mit der vom warmen Raume her zufliessenden ver-

mischt; nun kommt für die Säule der warmen Luft nicht die wärmere, sondern die Mischungstemperatur in Betracht.

Nimmt man endlich an, der Schornstein sei, wie es gewöhnlich der Fall ist, mit Luft gefüllt, die relativ verdünnt, wärmer ist, als die äussere Luft, so muss die Luft in dem Kanale *bf*, mag diese ebensowarm oder kälter sein, als die Luft des Raumes, durch den überwiegenden Druck vom Raume her nach dem Schornstein hin verdrängt werden, und die Bewegung geht ununterbrochen vor sich. Die Verminderung des Druckes von der äusseren Atmosphäre durch den Schornstein nach dem Kanale u. s. f. hätte wie durch relative Luftverdünnung, durch Erwärmung des Schornsteins, auch durch absolute Luftverdünnung mittels eines Saugapparates vermöge der Wirkung des Windes veranlasst werden können. Ist aber einmal die Luftströmung aus dem warmen Raume nach dem Schornstein im Gange, so ist eine weitere Luftverdünnung im Schornstein nicht mehr nothwendig, um die Strömung zu unterhalten.

Zum Zwecke einer einfachen Vergleichung des Effectes bei verschiedenen Richtungen des Kanals werde angenommen, der ganze Apparat sei mit gleich warmer Luft gefüllt. Die Luft im Heber *abc*, das ist im Raume und in dem zwischen denselben Horizontalen liegenden Kanaltheile ist für sich und in Bezug auf den äusseren Druck in gleicher Tiefe im Gleichgewicht; ebenso die Luft in *cfg*. Nicht im Gleichgewicht mit dem äusseren Druck ist aber die wärmere Luftsäule im Schornstein über der durch den Boden des Raumes gedachten Horizontalebene. (Die verticale Steigröhre oder der Schornstein mag unter *f* zunächst abgeschlossen angenommen werden, sobald die Bewegung eingeleitet ist.) Die Druckhöhe ist also auch dieser Theil der ganzen Schornsteinhöhe oder der verticale Abstand der obersten Mündung des Schornsteins vom Boden des zu ventilirenden Raumes. Dieselbe Druckhöhe ist aber auch in jedem anderen Falle vorhanden, man mag den Kanal horizontal oder schräg aufwärts, überhaupt in ganz beliebigen geraden oder gekrümmten Richtungen führen. — Da, abgesehen von den Hindernissen der Bewegung, das Abfliessen der verdorbenen Luft aus dem Raume schon erfolgen muss, wenn nur irgend eine für die gewünschte Richtung positive, noch so kleine Druckhöhe vorhanden ist, diese Druckhöhe aber schon grösser als Null ist, sobald der aufwärtsgehende mit warmer Luft gefüllte Heberschenkel auch nur wenig den Boden überragt (Fig. 183), so ersieht man, dass es in Bezug auf das Zustandekommen der Strömung nicht darauf ankommt, ob der aufwärtsgerichtete Schenkel oder die Steigröhre länger oder

kürzer als der vom Raume aus abwärtsgehende Schenkel ist; man kann folglich *die warme Luft von der Decke des Raumes aus so leiten, dass sie unter dem Horizonte der Decke ins Freie abfliesst.* Ja man kann sie sogar unter dem Horizonte des Fussbodens zum Abfliessen bringen, wenn man durch besondere Erhitzung der Luft im aufwärtsgerichteten Schenkel dieselbe entsprechend relativ verdünnt (Fig. 184), oder auch wenn man durch sehr wirksame Saugapparate eine

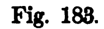
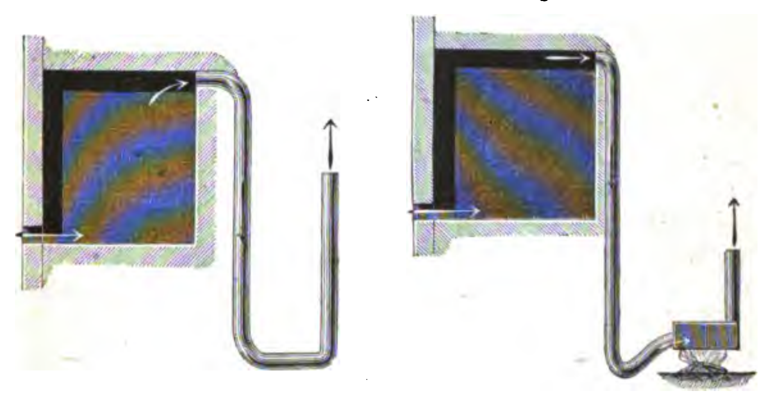


Fig. 183. Fig. 184.



starke absolute Luftverdünnung im *kurzen aufwärtsgerichteten Schenkel* veranlasst.

Man darf überhaupt bei Röhrenkrümmungen nicht immer in gleicher Weise die Ursache der Bewegung und Bewegungsrichtung oder des Stillstandes in der Lage des *kürzeren* Schenkels gegen den *längeren* suchen, man muss vielmehr, wenn es sich nur um das Zustandekommen der Bewegung handelt, die Bezeichnungen „*kürzer*“ und „*länger*“ oft als *nebensächlich* ansehen.

So ist es zwar richtig, dass man ein mit Wasser gefülltes Gefäss nur dann mittels des Hebers vollständig entleeren kann, wenn der äussere Schenkel — *Fallschenkel* — länger ist als der innere — *Steigschenkel* —. Ebenso richtig ist es, dass der Fallschenkel möglichst viel länger sein soll als der Steigschenkel, wenn die Entleerung möglichst rasch vor sich gehen soll.

Wenn es dagegen nur darauf ankommt, die untersten Wasserschichten aus dem Gefässe continuirlich abzuleiten, während das Gefäss durch Zufluss beständig gefüllt bleibt, so mögen die Heberschenkel gleich lang oder es mag der Fallschenkel auch bedeutend kürzer sein; das Ausfliessen findet so lange statt, als das Niveau des Wassers im Gefässe

höher erhalten wird als die Mündung des kürzeren Schenkels ausserhalb des Gefässes.

Die Betrachtung ist ganz dieselbe, wenn sich kalte Luft im Gefässe, warme Luft aussen befindet. Soll aber warme Luft aus einem Gefässe in kalte mittels des Hebers geleitet werden, so muss die Betrachtung eine umgekehrte sein, wie auch schon das die warme Luft enthaltende Gefäss umgekehrt zu denken ist, weil die wärmere Luft von der kälteren ebenso emporgehoben wird und oben aus dem Gefässe ausfliesst, wenn dasselbe oben offen ist, wie die kältere Luft oder das Wasser vermöge der grösseren Schwere in dem specifisch leichteren Medium sinkt und unten aus einem Gefässe ausfliesst, wenn das Gefäss am Boden eine Oeffnung hat. In der warmen Luft ist der aus der Schwere der Umgebung und ihrer eigenen geringeren Schwere resultirende Druck vertical aufwärts gerichtet, in kalter Luft, wie im Wasser, umgeben von warmer Luft, beziehungsweise von Luft überhaupt, geht die Richtung des resultirenden Druckes vertical abwärts. Ein selbständiges Bestreben zu steigen besitzt zwar die warme Luft durchaus nicht; sie ist den Gesetzen der Schwere unterworfen. Weil aber dieses für die Masse in einem bestimmten Volumen der warmen Luft in geringerem Grade der Fall ist als bei der sie umgebenden kälteren Luft, so ist in Folge des fortgepflanzten Ueberdrucks scheinbar ihre natürliche Bewegung die aufwärtsgerichtete im Steigschenkel, während die abwärtsgerichtete Bewegung der warmen Luft im Fallschenkel analog der Bewegung im Steigschenkel bei der Ableitung von Wasser oder kalter Luft zu betrachten ist. Man könnte demnach die zur Ableitung warmer Luft dienenden knieförmigen Röhren richtiger Senker als umgekehrte Heber nennen.

Man erkennt aus diesen Untersuchungen, dass der Ableitungskanal der warmen Luft, wenn bauliche Verhältnisse es bedingen, in beliebige Tiefe geführt werden kann, um mit einer Röhre in Verbindung zu treten, wo die aufwärtsgehende Luftströmung durch Erwärmung oder durch die saugende Wirkung des Windes hervorgebracht, eingeleitet wird; dass ferner die Bewegung unter sonst gleichen Umständen um so schneller stattfinden muss, je höher der aufwärtsgerichtete Schenkel oder der Schornstein, die „Zugesse“ ist, weil dadurch die Druckhöhe vergrössert wird; dass endlich, wenn der Schornstein unten mit der Atmosphäre in Verbindung und nicht besonders erwärmt, nicht mit wärmerer Luft gefüllt ist, als der zu ventilirende Raum, so dass also diese Luft auf ihrem Wege noch abgekühlt wird, das Tieferleiten wegen des grösseren Gewichts der Luftsäule im Schornstein, folg-

lich wegen der dadurch verminderten Geschwindigkeit der Luftströmung nachtheilig ist, dass aber umgekehrt, wenn der Schornstein selbst einen Luftstrom führt, welcher bedeutend wärmer ist, als die abzuführende Luft, diese zweckmässig möglichst tief hinabgeführt werden soll, ehe sie in den Schornstein einfliesst.

Solche Verbindungen von Ableitungskanälen mit Heizschornsteinen erfordern zuweilen besondere Vorsicht in Bezug auf die Temperaturverhältnisse, die Dimensionen und die Form des Schornsteins. Ist die Luft in den Ableitungskanälen auch in der Regel wärmer als die Aussenluft, so kann sie doch zuweilen so wenig erwärmt sein, dass der Zug des Schornsteins für dessen eigentlichen Zweck zu sehr geschwächt wird. Dieses ist um so mehr der Fall, je grösser der Querschnitt des Luftkanals im Verhältniss zum Querschnitt des Schornsteins ist. Der Schornsteinquerschnitt soll wenigstens so gross sein, wie die Summe der Querschnitte aller in denselben einmündenden Rauchröhren und Luftkanäle. Steht ein Schornstein von z. B. 500 Quadratcentimeter Querschnitt vollständig für einen Luftkanal zur Verfügung, so ist für diesen eine grössere Weite als 500 Quadratcentimeter — ausser an der Mündung wegen der Contraction — zwecklos. Ueberdies kann zu grosse Weite eines Kanals, wenn zufällig durch diesen die Luft mit Heftigkeit nach dem Schornstein gepresst wird, Hemmung des Einfliessens der Luft an der Feuerstelle und an anderen Luftmündungen, sogar umgekehrte Strömung und Rauch veranlassen. Ebenso kann aber auch das Einfliessen von zu grossen Luftmengen am unteren Theile des Schornsteins hemmend und umkehrend auf die Luft in höheren Seitenkälen wirken.

Solche Störungen kommen am wenigsten bei Schornsteinen vor, welche nach dem Verhältniss der durch Seitenkanäle aufzunehmenden Luftmenge stufenweise oder auch allmählich erweitert sind, mehr bei gleichmässig weiten Schornsteinen von nicht reichlicher Weite, sehr leicht aber bei allmählich oder plötzlich nach oben verengten Schornsteinen.

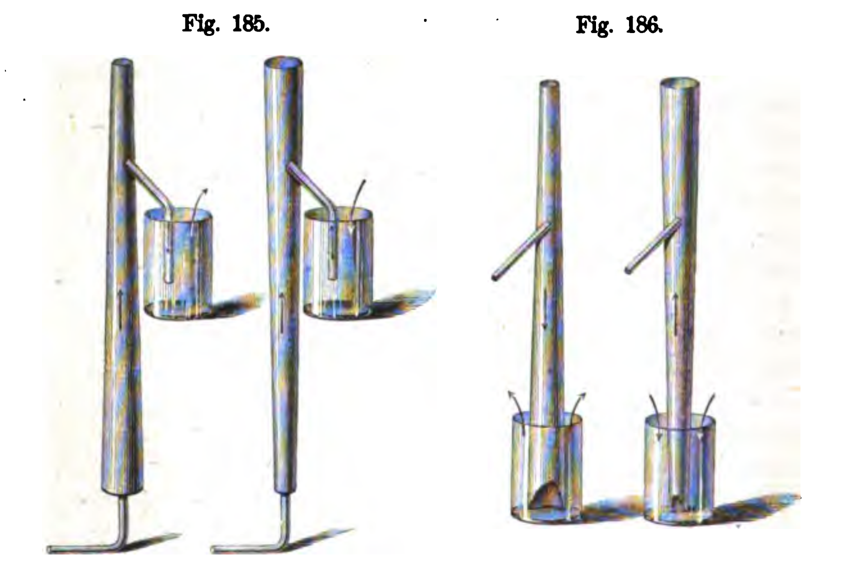
Zur Veranschaulichung der bedeutenden und zwar entgegengesetzten Einflüsse von Verengung und Erweiterung der Schornsteine mögen folgende Experimente dienen (Fig. 185):

Eine conische Röhre ist an ihrer weiteren unteren Oeffnung geschlossen und mit einer engen Glasröhre versehen, an der Seite mit einer etwas weiteren, welche nach unten gekrümmt in ein Glas hinabreicht. Bläst man durch das untere Röhrchen Rauch in die Röhre, so fliesst, trotzdem dass die obere Oeffnung vielmal weiter ist, als die Weite des Einblaseröhrchens, ein grosser Theil des eingeblasenen Rauches durch

das Seitenröhrchen herab in das Glas. Dreht man die Röhre um, das heisst, befestigt man das Einblaseröhrchen an der engeren Oeffnung und richtet nun die grössere, natürlich gänzlich offen, nach oben, so fliesst nicht nur der eingeblasene Rauch vollständig aus der Röhre, sondern es wird bei geringem Nachblasen auch noch der Rauch aus dem Glase gänzlich in die Röhre gehoben und fliesst durch die obere weite Mündung ab.

Dieselben Erscheinungen zeigen sich, wenn man das Einblaseröhrchen an der Seite anbringt, und die offene Röhre einmal mit der weiten, einmal mit der engen Mündung in das Glas stellt. Diese Erscheinungen sind in Fig. 186 angedeutet.

Fig. 185. Fig. 186.



Auch bei der reichlich weiten cylindrischen Röhre sind die Erscheinungen günstig. Auf die Formen der Heiz-Schornsteine wird im Abschnitt über Heizung näher eingegangen.

Aus Obigem geht hervor, dass Heber- und Senker-Röhren in mancherlei Modificationen angewendet werden können und in ihren Wirkungen von mancherlei Umständen beeinflusst werden. Wer in der Lage ist, derartige Vorrichtungen auszuführen, lasse es sich desshalb angelegen sein, über alle Nebenumstände sich Kenntniss zu verschaffen und sich die Möglichkeit der gewünschten Luftströmung vollständig klar zu machen.

Um diese Mahnung noch weiter zu rechtfertigen, erlaube ich mir,

aus dem viel verbreiteten Buche: C. Péclet, Grundsätze der Feuerungskunde, deutsch bearbeitet von Dr. Hartmann, dritte sehr verbesserte und vermehrte Auflage (Weimar 1858), einige Stellen wörtlich anzuführen.

Seite 321 und 322: „Wollten wir die verschiedenen Pläne alle betrachten, die zur Ventilirung öffentlicher Gebäude vorgeschlagen worden sind, so würden wir sehr viel Platz gebrauchen und die Grenzen dieser kleinen Schrift weit übersteigen. Wir beschränken uns daher hier darauf, bloss über den von dem Engländer Chowne vorgschlagenen Plan einige Worte zu sagen, der zur Ventilirung den Heber will. Der kürzere Schenkel eines solchen Hebers wird nämlich in den zu ventilirenden Raum geführt, während der längere Schenkel auswärts angebracht ist und die Luft abführt. Man bringe die Mündung des kürzeren Schenkels da an, wo sie den Strom aufnehmen kann, und führe ihn z. B. in die Esse (in Gruben in einen Schacht), so dass Esse oder Schacht als der längere Schenkel wirken, und man hat sogleich eine vollständige Circulation hergestellt. Das Bemerkenswerthe bei dieser Anwendung des Hebers besteht darin, dass er mit der Luft umgekehrt als mit Wasser wirkt, indem jene (es heisst in der That „jene", und Druckfehler sind nicht angegeben) in dem kürzeren Schenkel in die Höhe steigt und in dem längeren niederfällt. Dass die Luft in der gebogenen Röhre sich zu der umgebenden Atmosphäre wie Wasser oder ein anderer schwerer Körper verhält, geht aus den erlangten Erfahrungen deutlich hervor. Ein solcher Heber ist höchst einfach und in den meisten Fällen leicht anzubringen. Leichte Gase gehen, wenn sie erwärmt sind, in dem kürzeren Schenkel abwärts und steigen in dem längeren aufwärts, wo die Luftsäule kälter und schwerer ist. Will man nun die Heber zur Ventilirung öffentlicher Gebäude, z. B. einer Kirche anwenden, so muss dahin gesehen werden, dass dem Innern eine hinreichende Menge reiner Luft zuströme, weil dadurch die Fortschaffung der verdorbenen am leichtesten bewirkt werden kann. Der kurze Schenkel der Heber muss an gewissen verschiedenen Punkten in den Decken über den Seitenflügeln, sowie unmittelbar unter und über den Emporkirchen angebracht werden, während man hölzerne Röhren über der Decke des Hauptschiffs anbringt."

Seite 328 und 329 heisst es ferner:

„Der berühmte Tredgold führt folgendes System zur Fortschaffung verdorbener Luft an: Wenn ein umgekehrter Heber mit dem einen Schenkel in den Kamin gelegt wird und zwar so nahe an das Feuer, dass die Luft in diesem Schenkel wärmer sein wird, als in dem anderen,

so wird eine Bewegung stattfinden; denn es wird die Luft in dem warmen Schenkel und von diesem aus in der Esse in die Höhe steigen und in dem kalten Schenkel eine abwärts gehende Strömung der in dem Raume befindlichen Luft stattfinden. Um der Anwendung dieses Principes einen guten Erfolg zu sichern, muss die Mündung der Röhren an der Zimmerdecke angebracht sein; der unterste Theil der Curve muss sich so viel als möglich unter dem Punkte befinden, wo die Feuerung stattfindet, und die Oeffnung, durch welche die Luft in die Esse strömt, muss eine solche Form haben, dass der Russ nicht in die Röhre niederfallen kann; ebenso muss die Mündung auch mit einem Register versehen sein, um die Röhre zu verschliessen oder um die Ventilirung zu reguliren."

„Die neue Art der Zimmerventilirung, worauf Chowne in England patentirt worden ist, und welche wir oben beschrieben haben, steht im directen Gegensatze zum Tredgold'schen Plane. Die einzige Wirkung derselben würde die sein, den Rauch in dem kurzen Schenkel niederzuführen und durch den langen in den Raum, welches aber etwas sehr Unerwünschtes ist. Wenn unsere Leser sich dessen erinnern, was wir oben über diesen Plan gesagt, so werden sie finden, dass, so viel auch der kurze Schenkel erwärmt werden mochte, die aufsteigende Strömung in dem längeren Schenkel doch fortdauerte. Aus den gelungenen Versuchen, welche angestellt worden sind, und wegen der Thatsachen, dass das Princip bei der Ventilirung von Gebäuden wirklich mit Erfolg angewandt worden ist, halten wir es für angemessen, unter gewissen erleichternden Umständen einen Versuch mit der Erfindung Chowne's anzustellen." (Ein Versuch des Verfassers ist nicht angegeben.)

Ich überlasse es der Geduld des Lesers, sich aus diesen Mittheilungen, welchen erklärende Figuren nicht beigefügt sind, zurechtzufinden.

§. 148.

Pneumatischer Abschluss und pneumatische Verengung.

Zu Anfang von §. 147 ist von der Annahme eines pneumatischen Abschlusses gesprochen; doch ist weiterhin nicht darauf Bezug genommen, weil es unter den dort gemachten Voraussetzungen unnöthig war. Solcher Abschluss kann mitunter vorkommen und unangenehme Störungen veranlassen, wie er auch andererseits für gewisse Zwecke erwünscht ist, und absichtlich herbeigeführt wird.

Ueber Luft- und Wasserschlüsse sind in §. 35 und §. 106 verschiedene Beispiele gegeben; die Heranziehung des Wasserschlusses ist hier am Platze, weil sich unter gewissen Umständen kalte Luft zu warmer ähnlich verhält wie Wasser zu Luft. Wie der Wasserschluss in Bezug auf Luft, so gilt der Kaltluftschluss in Bezug auf warme Luft, und wie pneumatischer Schluss gegenüber dem Wasser, so Warmluftschluss gegenüber kalter Luft.

Principiell ist dieses festzuhalten, wenn auch in Bezug auf Widerstandsfähigkeit und Unveränderlichkeit dieser Abschlüsse grosse Unterschiede bestehen. Pneumatische Schlüsse zwischen Gasen im Allgemeinen sind veränderlich und unvollkommen in Folge der Diffusion, der leichten Verschieblichkeit der Theilchen, des geringen specifischen Gewichts und der Ausgleichung von Temperaturdifferenzen.

Es mögen hier einige Fälle des Entstehens von pneumatischen Abschlüssen und pneumatischen Verengungen vorgeführt werden, wobei heisse und kalte Luft von gleicher Zusammensetzung vorausgesetzt, also die Diffusion verschiedenartiger Gase ausgeschlossen sein mag.

Von der Decke eines mit heisser Luft gefüllten Raumes sei eine Röhre vertical in die kalte Luft emporgeführt; im Uebrigen sei der Raum dicht geschlossen.

Obwohl hier ein Ueberdruck für eine bestimmte Druckhöhe nicht vorhanden ist, so erfolgt doch Luftwechsel, nämlich durch Doppelströmung, wobei auch etwas Vermischung der sich begegnenden Luftströme entsteht.

Macht die verticale Röhre eine horizotale Wendung, die entweder die Endigung der Röhre bilden oder zwischen verticale Röhrentheile eingeschaltet sein kann, so besteht die Doppelströmung etwas schwächer fort und die Vermischung ist bedeutender. Die Vorgänge bleiben im Wesentlichen dieselben, wenn das Wendungsstück nicht genau horizontal, sondern etwas abwärts geneigt angebracht ist.

Wenn aber dieses absolute Gefälle gleich dem Röhrendurchmesser oder grösser wird, so hört die Doppelströmung und folglich auch die Vermischung und der Luftwechsel auf. In dem schräg abwärts gerichteten Röhrenstück steht die heisse Luft über der kalten, man hat einen pneumatischen Abschluss in doppeltem Sinne, einen Kaltluftschluss gegen das Entweichen der heissen Luft und einen Heissluftschluss gegen das Eindringen der kalten Luft.

Kann in den angenommenen mit heisser Luft gefüllten Raum an irgend einer anderen Stelle Luft eindringen, so kann jener pneumatische Abschluss nicht fortbestehen, es entweicht durch die Röhre ebenso viel

Luft, als unten einfliesst. Wenn aber die Röhrenwendung unter den Horizont der Zuflussstelle herabreicht, so findet die Strömung nicht mehr statt, man hat wieder pneumatischen Abschluss, mag nun die fallende Röhre in schräger Richtung endigen oder wieder in die verticale Richtung nach unten oder oben übergeführt sein oder in irgend eine andere Richtung.

So würde bei Einrichtungen nach Fig. 183 und Fig. 184 die warme Luft pneumatisch abgesperrt sein, also die Strömung nicht zu Stande kommen können, so lange nicht die kalte Luft in den unteren Röhrenkrümmungen, wie dort erwähnt, durch Luftverdünnung oder, was im Wesentlichen ebenso wirkt, durch anderseitig vergrösserten Ueberdruck hinausgetrieben wäre.

Haben die Röhren oder Kanäle an solchen Krümmungsstellen sehr grosse Querschnitte oder ist der Ueberdruck und folglich die Geschwindigkeit der Strömung verhältnissmässig gering, so kommt es leicht vor, dass die kalte Luft aus den tieferen Stellen nicht sofort völlig ausgetrieben wird, sondern theilweise zurückbleibt und sich nach und nach mit der über sie hinfliessenden warmen Luft mischt. Es ist da für einige Dauer der Strömung eine pneumatische Verengung vorhanden.

Enthält ferner ein im Allgemeinen horizontaler oder auch ansteigender Warmluftkanal einige, wenn auch kleine Krümmungen in verticaler Richtung, so können in den tiefsten Theilen auf einige Zeit kalte Luftmengen zurückbleiben, welche pneumatische Verengungen und unter Umständen sogar pneumatischen Schluss bilden, indem die Summe kleiner Gegendrücke einen Gesammtdruck bilden kann, welcher dem anderseitigen Ueberdrucke gleich ist.

Aehnliches gilt auch für Kaltluftleitungen in leicht zu verfolgender Weise; für den analogen letzten Fall mögen die Darstellungen in §. 35 zur Erläuterung und Veranschaulichung dienen.

§. 149.

Schlussbemerkungen über die Ventilation nicht geheizter Räume.

Aus den Untersuchungen über die Ventilation nicht geheizter kalter und warmer Räume ist ersichtlich, dass die meisten Anlagen für beide Zwecke wesentlich nur dadurch sich unterscheiden, dass die

Oeffnungen für Zuführung und Abführung der kalten oder warmen Luft des Raumes an anderen Stellen anzubringen sind. Jedenfalls wird es in vielen Fällen erwünscht sein, dass die Ventilation durch dieselbe Einrichtung erzielt werde, mag nun die zu entfernende Luft kälter oder wärmer als die äussere Luft sein. Die einfachste Einrichtung, welche beiden Zwecken dient, ist die, welche in den Figuren 112 und 174 angedeutet ist, nämlich in dem zu ventilirenden Raume eine Oeffnung an der Decke und eine am Boden. Genügt je eine einzige Oeffnung für den Austausch der nöthigen Luftmenge nicht, so kann man die Anzahl der Oeffnungen nach Wunsch oder Nothwendigkeit vermehren. Eine solche Vervielfältigung der Oeffnungen ist immerhin schon aus dem Grunde zu empfehlen, weil dadurch die Strömung mehr vertheilt, nicht so heftig an einzelnen Stellen wahrgenommen wird. Durch architektonische Rücksichten wird ferner zuweilen die Anbringung eines kleinen oder grösseren Kanals geboten sein, der von der oberen Oeffnung aufwärts, von der unteren aus abwärts zu führen ist, wenn dieselben nicht nahezu horizontal angebracht werden können. Den kleinen Kanal der oberen Mündung lässt man am einfachsten unter dem Gurtgesimse austreten, wo die Oeffnung in einer Friesverzierung bequem angebracht werden kann, oder man lässt einen kurzen aufwärtsgehenden Kanal in der Mitte der nächst höheren Fensterbrüstung, bei den obersten Stockwerken unter dem Hauptgesimse ausmünden, in welchen Fällen wieder eine Rosette oder ein sonstiges Ornament die Mündung aufnehmen kann. In Rücksicht auf die Oeffnung am Boden des Raumes kann man bei horizontaler Führung des kleinen Kanals den Sockel der Fensterbrüstung durchbrochen anordnen, oder ein abwärtsgehendes Kanälchen in einer tieferen Friesverzierung ausmünden lassen. Auf der Wetterseite wird es immer rathsam sein, die beiden Mündungen aussen unter Gesimsen anzubringen. Die Anordnung von Gesimsen, die man vielleicht ausserdem unterlassen hätte, sowie eine grössere Ausladung dürfte hiebei durch den Zweck hinreichend motivirt sein. Doch kann man auch speciell für die Ventilationsmündungen zweckmässig geschützte Durchbrechungen an beliebigen Stellen anbringen, an welchen sich dieselben für den Hauptzweck am vortheilhaftesten erweisen. Bringt man doch so häufig lediglich zum Zwecke der Decoration Rosetten, Wappen, Löwenköpfe u. dgl. auf glatten Wandflächen an, um so mehr wird sich das vertheidigen lassen, wenn man die Zwecke der Ventilation damit verbindet. Hiemit will ich nicht sagen, dass die Ventilationsöffnungen durch die Ornamente maskirt, versteckt

werden sollen. Es ist ebenso wenig ein Grund vorhanden, die baulichen Mittel, welche wir zur Erhaltung gesunder Luft anwenden, die Ventilationsöffnungen zu verbergen, als es Jemandem einfallen würde, die Oeffnungen, welche seinem Zimmer das Tageslicht zuführen, die Fenster verbergen oder vermeiden zu wollen, das Tageslicht nur von oben herab in seine Räume gelangen zu lassen.

Ebenso jedoch, wie unter gewissen Verhältnissen Oberlicht für ein Local benützt werden muss, so können auch verschiedene Umstände die Zweckmässigkeit oder Nothwendigkeit begründen, die reine Luft nicht unmittelbar aus dem Horizonte des Raumes, von der Strasse oder vom Hofe herein, sondern vom Dache herabzuführen. Wie oben (Fig. 176, 178, 179) gezeigt worden ist, geht die Ventilation mittels zweier Röhren, von denen die eine an der Decke, die andere vom Boden des Raumes emporgeführt ist, schon allein durch geringe Temperaturdifferenzen sehr gut vor sich, wenn die Luft des Raumes wärmer ist als die äussere Luft, und willkommener Weise ist dieses in den von uns benützten Räumen gewöhnlich der Fall. Doch kann umgekehrt vermöge der Temperaturdifferenzen die Luft des Raumes durch keine dieser Röhren entweichen, sobald die Luft des Raumes ebenso warm oder kälter ist, als die äussere Luft.

Um also auch für diesen Fall die erwähnte Röhrenanlage zur Ventilation benützen zu können und zugleich im ersten Falle die regelmässige Strömung zum wenigsten vor den störenden Einwirkungen des Windes zu schützen, ist man genöthigt, besondere Apparate über den Röhrenmündungen anzubringen, und diese sind in den Saug- und Druckventilatoren gegeben.

Nun kommt aber noch, wenn man nicht nur eine Luftverbesserung durch Mischung, sondern eine vollständige Lufterneuerung, einen vollkommenen Austausch der verdorbenen Luft gegen reine Luft zu erzielen wünscht, der Umstand zur Berücksichtigung, dass für den warmen Raum die wärmere Luft an der Decke abgeführt, die kältere Luft am Boden eingeführt werden soll; dass ferner für den kalten Raum die kältere Luft am Boden abzuführen, die wärmere an der Decke einzuleiten ist. Diese durch die Forderung einer möglichst vollständigen Lufterneuerung bedingte Nothwendigkeit der entgegengesetzten Lage der Röhrenmündungen unter wechselnden Temperaturverhältnissen führt unmittelbar auf die Einrichtung, dass man beide Röhren, die Saugröhre wie die Druckröhre bis an den Boden des Raumes hinabführt, eine jede an der Decke

wie am Boden mit Oeffnungen versieht, die nach Bedürfniss geöffnet oder geschlossen werden können (Fig. 187).

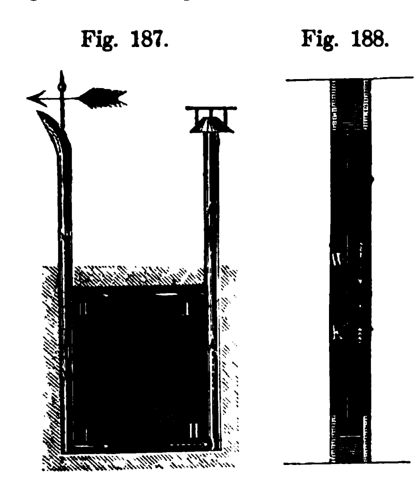


Fig. 187. Fig. 188.

Um zu verhüten, dass etwa alle Oeffnungen zu gleicher Zeit unachtsamer Weise offen oder geschlossen sind, um auch Verwechselungen vorzubeugen und die Bedienung möglichst zu vereinfachen, wird man eine sehr einfache Einrichtung treffen können, etwa wie die folgende (Fig. 188): Die Abflussröhre (Saugröhre) ist unter der Decke und über dem Boden mit einem Schieber versehen, welcher etwas grösser ist als die Oeffnung und dicht vor derselben in Falzen läuft. Beide Schieber sind durch eine verticale Schiene oder Stange verbunden, welche in der Höhe von etwa 1 ½ Meter mit einem Handgriffe versehen ist. Ueber und unter dem Handgriffe sind entgegengesetzte Pfeile und daneben die Buchstaben *W* und *K* gezeichnet, um anzudeuten, dass man an dem Handgriffe herabziehen soll, wenn die Luft im Raume wärmer ist, als die äussere, dagegen den Handgriff heben soll, wenn die innere Luft kälter ist. Die Bezeichnung der Zuflussröhre (Druckröhre), die ebenso eingerichtet ist, muss natürlich die umgekehrte sein. Dass man sich zur Beurtheilung der Temperaturdifferenzen nicht immer auf das Gefühl verlassen darf, sondern hiezu Thermometerbeobachtungen sowohl innerhalb des Raumes als auch ausserhalb desselben an einem vor Wind und Regen geschützten Orte nöthig hat, ist naheliegend.

Steht zu erwarten, dass doch zuweilen sämmtliche Mündungen geschlossen, oder die betreffenden nur theilweise geöffnet sein sollen, so wird man besser die verticale Schiene in zwei Theile trennen, während die obige Bezeichnung bleiben kann. Denselben Zweck kann man übrigens auch erreichen, wenn man über der obersten Oeffnung oder auch zwischen beiden Oeffnungen einen horizontalen Schieber anbringt, oder im Innern der Röhre eine Drehplatte u. dgl.

Als Luftzuführungsapparat über der Röhre wird man am besten den festen Pulsator (Fig. 149) anwenden, und als Luftableitungsapparat den festen Luftsauger (Fig. 134).

Genügt ein weniger vollständiger Austausch der Luft, so kann man einige Lüftungstrichter nach (Fig. 157) anwenden oder auch den vereinigten Saug- und Druckapparat (Fig. 156), und da der Apparat nun für den warmen wie für den kalten Raum dienen soll, wird man die Röhre mit der Kreuzwand an den Boden herabführen und in jedem Röhrenraume, sowohl an der Decke wie am Boden die Oeffnung anbringen. Bleiben die Oeffnungen während der Ventilation immer alle offen, so fliesst, mag die Luft des Raumes kälter oder wärmer als die äussere sein, in dem gegen den Wind gekehrten Theile die reine Luft herab und in Folge der Inertie grösstentheils am Boden aus, während auf der anderen Seite oben und unten die Luft des Raumes in die Röhre fliesst. Unter vielen Umständen wird diese Verbesserung der Luft durch Vermischung genügen. Der Luftwechsel wird bedeutend gefördert, wenn man die vorhin erwähnte Schiebevorrichtung an jeder Seite der Röhre anbringt, jedoch, da bei veränderlicher Richtung des Windes der Zuführungsraum alsbald in den Abführungsraum umgewandelt sein kann, gegen jene Einrichtung mit dem Unterschiede, dass nur die sämmtlichen oberen Mündungen geöffnet werden, wenn die Luft im Raume wärmer ist als die äussere, im anderen Falle nur die unteren. Im ersteren Falle sinkt nämlich die oben einfliessende kalte Luft doch grossentheils zunächst an den Boden, die wärmste Luft des Raumes aber fliesst, wie es sein soll, an der Decke ab; im letzteren Falle steigt die am Boden einfliessende wärmere Luft ebenso grossentheils zunächst nach der Decke, die kälteste Luft des Raumes fliesst dem Zwecke entsprechend am Boden ab.

Dass man, wie schon früher erwähnt, bei allen diesen Einrichtungen den einfliessenden Luftstrom mittels einer mit vielen kleinen Oeffnungen versehenen Röhre u. dgl. vertheilen, auf diese Weise den sogenannten Zug nach Wunsch vermindern kann, das ist je nach der Benützung des Raumes in Beachtung zu ziehen. Eine solche Abänderung modificirt den Effect der Anlage nicht wesentlich und wird nirgends besondere Schwierigkeiten bieten.

§. 150.

Allgemeines über die Ventilation geheizter Räume.

In Hinsicht auf die Ventilation geheizter Räume gelten die früher angegebenen Regeln und Gleichungen ungeändert, und auch die Nebenapparate, die Saug- und Druckventilatoren können zweckmässige An-

wendung finden; doch ist nun in Rücksicht auf die Brennstoffökonomie und zur Vermeidung allzu ungleichmässiger, rasch wechselnder Temperaturverhältnisse in dem benützten Raume, ferner weil während der Heizperiode die Differenz der äusseren und inneren Temperatur häufig eine sehr grosse ist, besondere Vorsicht in der Anwendung jener Apparate und sorgfältigere Berechnung der Querschnitte für Oeffnungen und Kanäle nothwendig.

Im Allgemeinen ist bei der Ventilation geheizter Räume zu unterscheiden, ob die Luft im Raume selbst erwärmt wird, oder ob die reine Luft dem zu ventilirenden Raume erwärmt zugeführt werden soll. Im ersten Falle ist wieder zu beachten, ob die Heizung des Raumes, eigentlich die Erwärmung der sich in demselben befindenden Gegenstände, mehr nach dem Prinzipe der Wärmestrahlung, oder mehr durch Lufterwärmung geschehen soll, was namentlich für die Einrichtung der Wärmeapparate im Raume massgebend ist und für den ihnen daselbst anzuweisenden Ort, sowie auch für die Stellen, wo die Luft ein- und ausfliessen soll.

Wird die Ventilationsluft dem Raume erwärmt zugeführt, so kommt es in Beziehung auf die verschiedenen Mündungen wieder darauf an, ob die erwärmt zugeführte Luft noch eine geringere Temperatur hat als die meisten Gegenstände des Raumes, ob sie also daselbst noch mehr erwärmt oder im anderen Falle abgekühlt wird; dieses hängt nun sowohl von der äusseren Temperatur, der Lage des Raumes, der Beschaffenheit der Wände und Fenster, als auch von der Benützung des Raumes, von der Anzahl der anwesenden Personen und von der Beleuchtung, unter Umständen auch noch von gewissen in dem Raume vorgenommenen Verrichtungen ab. Diese verschiedenen Umstände sollen nun, insoweit sie wesentlich verschiedene Einrichtungen bedingen, der Reihe nach in Erwägung gezogen werden.

§. 151.

Ventilation geheizter Räume mittels Zuführung kalter Luft.

Soll die Ventilationsluft einem Raume mit geringerer Temperatur zugeführt werden, als die ist, welche man in diesem zu haben wünscht, so müssen Gegenstände im Raume vorhanden sein, welche eine entsprechende Menge Wärme liefern. Solche Gegenstände sind, abgesehen von den Einflüssen des Lebensprocesses und der Beleuchtung, die Apparate für gewöhnliche Ofenheizung, Warmwasserheizung, Dampfheizung,

Kanalheizung, Gasheizung. Die Erwärmung der Luft im Raume geschieht hiebei in der Weise, dass die Luft an den erhitzten Oberflächen jener Apparate sowohl, wie an den übrigen Gegenständen des Raumes, welche bereits durch die von den höher erhitzten Gegenständen ihnen zugeleitete oder zugestrahlte Wärme eine höhere Temperatur erlangt haben, vorbeiströmt, durch Berührung Wärme von allen diesen wärmeren Gegenständen aufnimmt. — Wollte man in Räumen, wo die Luft in dieser Weise erwärmt wird, die Ventilation einfach dadurch erzielen, dass man einen Abflusskanal vom Fussboden des Zimmers aus nach dem Freien, in eine Feuerung, einen Schornstein oder in eine Zugesse leitet, so wird man bei der gewöhnlichen Anlage der genannten Heizapparate seinen Zweck in den meisten Fällen total verfehlen. Es kann offenbar durch jene Kanäle am Boden überhaupt keine Luft entweichen, wenn nicht zugleich eine entsprechende Luftmenge von aussen zufliesst; diese fliesst in der That in nicht unerheblicher Menge durch alle kleinen Oeffnungen durch die Wände, Thüren und Fenster herein, wenn kein Weg mit geringeren Widerständen für sie vorhanden ist. Wenn nun dieses der Fall, oder wenn, wie hier angenommen wurde, die äussere kalte Luft besonders zugeführt wird, so wird immer diese kalte Luft sogleich am Boden des Raumes hin in den Kanal, beziehungsweise direct in die Feuerung fliessen und wird nur eine geringe Menge der verdorbenen wärmeren Luft mit sich nehmen, sich selbst auch nur in gleich geringer Menge den höheren Schichten des Raumes mittheilen. Bei den genannten Heizmethoden unterscheidet sich demnach die Einrichtung der Ventilation wenig von den Ventilationsanlagen warmer aber nicht geheizter, oder wenn man will, durch Personen und Flammen geheizter Räume. Die Ausflussmündung für die verdorbene Luft muss jedenfalls in einer solchen Höhe liegen, dass eine grosse Menge reiner Luft in die Höhe gelangt, in welcher wir athmen, also unter gewöhnlichen Umständen in einer Höhe von nahezu 2 Meter. Ueber der Höhe der Ausflussöffnung bildet sich gleichsam ein Magazin, in welchem die am meisten verdorbene Luft aufgeschichtet und nur wenig durch Vermischung mit reiner Luft verbessert wird. Um wenigstens von Zeit zu Zeit diese verdorbene Luftmasse abzulassen, ist eine Oeffnung an der höchsten Stelle des Raumes nöthig, und jedenfalls ist es im gegenwärtigen Falle für die Ventilation am vortheilhaftesten, überhaupt nur durch Oeffnungen an der höchsten Stelle die verdorbene Luft abzuführen. — Der Zufluss der reinen kalten Luft kann an irgend einer Stelle geschehen; je weniger die Vermischung stattfinden soll, desto tiefer muss die Zuflussöffnung

angebracht werden; je grösser ferner der verticale Abstand der beiden Oeffnungen, somit auch die Druckhöhe ist, desto rascher entweicht die verdorbene Luft. Aus diesen Gründen wäre es am zweckmässigsten, die Zuflussöffnung am Boden anzubringen; es sind aber auch Gegengründe aufzuführen.

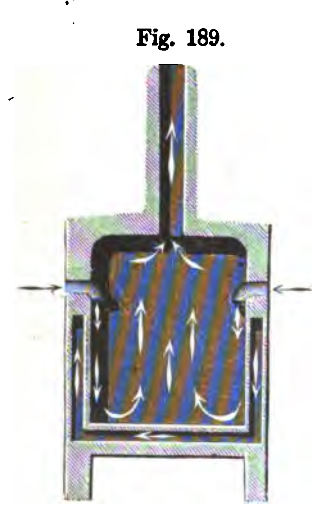
Man erkennt leicht, dass eine solche Ventilation nicht ohne Verschwendung von Brennmaterial in gehörigem Gange erhalten werden wird, da immer die wärmste Luft entweicht. Selbst bei ausserordentlichem Aufwande an Brennmaterial wird auch bei solcher Anlage wenigstens der untere Theil unseres Körpers eine sehr unangenehme Kälte empfinden. Dazu kommt noch die einseitige Erwärmung des Körpers durch die strahlende Wärme, wenn wir uns ruhig in nicht sehr grosser Entfernung vom Ofen oder von den Heizröhren befinden. Abgesehen von der dadurch veranlassten Unbehaglichkeit — auch die Gesundheit muss leiden, wenn sich die einzelnen Körpertheile in so ungleichen Temperaturen befinden, zumal wenn so zu sagen dem Kopfe beständig ein warmes, den Füssen dagegen ein kaltes Bad aufgezwungen wird. Dass dieser Vergleich zulässig ist, davon kann man sich bei solchen Anlagen durch das Gefühl, entschiedener noch durch das Thermometer überzeugen, besonders wenn die Ventilationsöffnungen auch gross genug sind, um die Luft des Raumes gehörig zu erneuern.

Dem letzterwähnten Uebelstande der allzusehr verschiedenen Temperatur in den einzelnen Schichten des Raumes kann man dadurch wirksam begegnen, dass man den Fussboden selbst erwärmt, indem man Kanäle oder Röhren mit heissem Rauche, heisser Luft, heissem Wasser oder Dampf in grosser Anzahl oder in vielen Krümmungen unter dem Fussboden hinleitet und die Oeffnungen, durch welche die reine kalte Luft einfliesst, gehörig vertheilt. Die auf diese Weise eingeführte kalte Luft erwärmt sich nun, indem sie über den Boden hinfliesst, und wird durch die beständig nachfliessende weniger warme Luft in die Höhe gehoben. Kann man zugleich in den Umfassungswänden einige warme Kanäle anbringen, und legt man die Einströmungsöffnungen der kalten Luft nahe an die Decke, während man vom höchsten Punkte der Decke selbst aus eine Abflussröhre der warmen Luft von beträchtlicher Höhe emporführt (Fig. 189), so erwächst noch der Vortheil, dass die kalte Luft schon während ihres Herabfliessens an den Wänden etwas erwärmt wird, und auf diese Weise schon vorgewärmt an den Boden gelangt, während, wenn die Wände kalt sind, ein grosser Theil der vom Boden erwärmt

aufsteigenden und benützten Luft sich an den Wänden abkühlt und so wiederholt zur Benützung gelangt.

Um zu bewirken, dass die kalte Luft nicht horizontal in den Raum einfliesst und in einem Parabelbogen gegen die Mitte des Raumes herabsinkt, um sie im Gegentheil zu veranlassen, an den Umfangswänden, sich an diesen ausbreitend, abwärts zu fliessen, wird man nach unten gekrümmte Schirme, die nach den Seiten abwärts erweitert sind, über den Zuflussöffnungen anbringen. Sitzplätze dicht an den Umfassungswänden anzubringen, wird man natürlich hiebei zu vermeiden suchen; müssen aber solche angebracht werden, so hat man auf die Erwärmung der einfliessenden Luft an den Wänden zu verzichten, die oben einfliessende kalte Luft durch horizontale Schirme oder durchlochte Röhren in der Nähe der Decke zu vertheilen (wobei die Lufterneuerung aber keine so vollständige mehr ist), oder die Einflussmündungen nahe am Boden oder in diesem selbst anzubringen, wobei aber immer dafür zu sorgen ist, dass der kalte Strom sich zunächst über den Fussboden vertheile, nicht etwa bei seinem Eintritte vom Boden gegen die Decke schiesse. Die Entscheidung über die Zweckmässigkeit und Zulässigkeit solcher Anlagen ist natürlich eine relative, erfordert immer eine genaue Kenntniss und Berücksichtigung der speciellen Verhältnisse; die Construction des Fussbodens und der Wände nimmt für eine solche Einrichtung besondere Umsicht bei dem Entwerfen wie bei der Ausführung des Baues in Anspruch.

Fig. 189.



Als einfacher und in der Regel zweckentsprechend ist die Anwendung von Lufteinführungssäulen wie in §. 139 auch hier zu empfehlen.

§. 152.

Ventilation mittels Zuführung wenig erwärmter Luft.

Wird ein Raum in der Regel von sehr vielen Personen zu gleicher Zeit besucht, so dass durch deren Körperwärme schon, unter Um-

ständen noch mehr durch die Beleuchtung die Temperatur der Luft in diesem Raume bedeutend erhöht wird, so lässt sich die Ventilation auf einfache Art dadurch erzielen, dass man die reine Luft, nachdem sie ausserhalb des Raumes mässig erwärmt worden, am Boden oder in geringer Entfernung über dem Boden einführt und sie durch abwärtsgerichtete Schirme zwingt, sich zunächst am Boden auszubreiten; die verdorbene Luft wird am höchsten Punkte des Raumes durch eine verticale Röhre in die Atmosphäre geführt. Die Temperatur der bei dieser Einrichtung zugeführten Luft muss jedenfalls geringer sein, als die Temperatur der Luft in der Höhe der Respiration, weil sie sonst, ohne die Luft in den unteren Schichten genügend zu verbessern, zu schnell an die Decke und ins Freie strömen würde. Doch darf die Temperatur der zugeführten Luft auch nicht zu gering sein, weil sie sonst die Personen im Raume belästigen und an der Gesundheit schädigen könnte. Eine Temperatur von 12 bis 15° C. wird sich als die zweckmässigste ergeben. Es lässt sich die Anordnung treffen, dass die äussere Luft, wenn sie schon diese Temperatur hat, auf demselben Wege eingelassen wird, wie ausserdem die erwärmte; dass ferner, wenn die äussere Luft kälter ist, durch gemeinsamen Durchfluss dieser kälteren Luft durch eine Röhre mit einer bestimmten, durch ein Register zu regulirenden Menge wärmerer Luft die Mischungstemperatur 12 bis 15° erzielt wird.

Das Prinzip dieser Anlage ist, wie man sieht, kein anderes, als das für die Ventilation eines warmen nicht geheizten Raumes. Die eingeführte mässig warme Luft wird im Raume, während sie benützt, verunreinigt wird, zugleich mehr erwärmt und als specifisch leichter von der stets nachfliessenden noch specifisch schwereren Luft verdrängt, durch diese unmittelbar, durch den äusseren Druck mittelbar emporgehoben.

Es ist demnach nahe liegend, dass man auch hier wieder von den mehrerwähnten Lufteinführungsgehäusen vortheilhaften Gebrauch machen kann. Je mehr man diese im Raume vertheilt und je höher man sie macht, desto geringer darf die Temperatur der eingeführten Luft sein. Man kann alsdann unter Umständen, wenn die sehr reichliche Wärmeentwickelung im Raume es wünschenswerth macht, die Luft mit nur 10° C., im Sommer eventuell auf diese Temperatur gekühlt, einführen. Es ist jedoch auch nicht zu übersehen, dass bei solcher eigentlichen Mischventilation für Erhaltung gleich guter Luftbeschaffenheit wie bei anderen erwähnten Systemen des Luftwechsels, verhältnissmässig grosse Luftmengen erforderlich sind.

§. 153.

Ventilation mittels Zuführung sehr warmer Luft.

Wird ein Raum nicht so stark besucht und durch Flammen erhellt, dass man annehmen kann, die Luft in demselben werde in Folge der Benützung während der kalten Jahreszeit erwärmt, so ist es nothwendig, die Luft mit einer ziemlich hohen Temperatur einfliessen zu lassen, die natürlich um so höher sein muss, je vielfacher die Ursachen der Abkühlung sind. Man kann nun die warme Luft durch einen mit sehr vielen kleinen Oeffnungen versehenen, etwa noch mit Teppichen belegten Fussboden so fein vertheilt einfliessen lassen, dass sie nicht zur Ausflussöffnung an die Decke gelangen kann, ohne sich vorher in hohem Grade mit der Luft des Raumes gemischt zu haben; auf diese Art wird der Raum sehr gleichmässig erwärmt. Will oder kann man aber diese Einrichtung nicht treffen, die Luft nicht so fein vertheilt einführen, und muss doch die reine Luft mit höherer Temperatur, als auch während der Heizung die Temperatur des Raumes ist, in bedeutender Menge eingeführt werden, so darf auch die Abflussöffnung nicht an der Decke liegen; denn die nicht fein vertheilte, sondern in Masse durch einige grössere Oeffnungen einströmende warme Luft würde grösstentheils unbenützt durch die Oeffnung an der Decke entweichen.

Die Einrichtung muss alsdann eine ähnliche sein, wie bei der Ventilation eines kalten Raumes, die Abflussöffnung muss sich am Boden des zu ventilirenden Raumes befinden. Die einfliessende Luft ist die wärmste des Raumes; man kann sie an irgend einer Stelle einfliessen lassen, und in der Decke hat dieses zu geschehen, wenn man so viel als möglich die Vermischung der reinen Luft mit der verdorbenen zu vermeiden wünscht. Immerhin nimmt die wärmste, also auch hier die reinste Luft die nächsten Schichten unter der Decke ein; sie kühlt sich im Raume selbst allmälig ab und wird auf diese Weise beständig durch die nachfliessende noch wärmere Luft von der Decke gegen den Boden herab verdrängt. Ein Theil der einfliessenden warmen Luft wird sich, wenn die Wände sich nicht schon durch sehr lange andauernde Heizung bedeutend erwärmt haben, an diesen kälteren Wänden, so auch an den kalten Fensterscheiben rascher abkühlen und direct nach dem Boden herabfliessen.

Die Erzeugnisse der Ausdunstung, Athmung und Beleuchtung steigen nun allerdings anfangs in die Höhe, etwa so weit, bis sie in

Luftschichten gelangen, die wärmer sind, als diese am meisten verdorbenen, schon einigermassen mit kälterer Luft vermischten Luftmengen, oder sie werden durch nahezu horizontale oder auch durch abwärtsgerichtete Luftbewegungen mit fortgenommen. Offenbar gelangt die verdorbene Luft auf diese Art theilweise wieder in die Regionen der Respiration; doch ist sie in der reinen Luft so sehr vertheilt, dass sie nicht unangenehm oder nachtheilig wirken kann. Soll dieses aber auch wahr sein, so muss bei der Anlage dafür Sorge getragen werden, dass unter allen Umständen die nöthige Luftmenge in bestimmter Zeit durch den Raum geführt werde. Man wird sich erinnern, dass die weiter oben gemachten, auf Beobachtungen verschiedener Forscher und auf Berechnungen gestützten Angaben über die Menge der zuzuführenden Luft und über die für diesen Zweck nöthigen Querschnitte der Oeffnungen und Röhren nicht nach der Voraussetzung gefunden worden sind, die schädlichen Gase, welche wir durch Respiration und Perspiration sowie durch Beleuchtung erzeugen, würden sogleich entfernt; dann wäre eine höchst geringe Menge reiner Luft zur Ventilation genügend. Die Voraussetzung war im Gegentheile die allerungünstigste, die bei nicht total verfehlten Apparaten gemacht werden kann, dass sich nämlich jene schädlichen Gase mit der zugeführten reinen Luft vollständig vermischen.

Das für verschiedene Räume und Verhältnisse angegebene Ventilationsquantum ist noch reducirbar, wenn man durch die gesammte Anordnung dahin trachtet, dass die Vermischung der reinen Luft mit der verdorbenen nicht in so hohem Grade stattfindet, dass vielmehr immer *möglichst unvermischte reine Luft zum Einathmen gelangt*. Um so mehr genügen jene Luftmengen, weil man die Berechnung stets für die ungünstigsten Verhältnisse anstellt. Wo aber der beständigen Vermischung der verdorbenen Luft mit der reinen nicht so gut vorzubeugen ist, und wo man noch unter den ungünstigsten Umständen eine ganz besonders reine Luft haben will, da wird man auch für eine solche Anforderung nach den früher gegebenen Anhaltspunkten die zweckmässigen Dimensionen der Oeffnungen, Röhren und Kanäle zu bestimmen im Stande sein.

Ausführliche Mittheilungen über die Einrichtungen verschiedener Apparate zum Zwecke der Ventilation mittels Zuführung warmer Luft werden im nächsten Abschnitte über *Heizung*, namentlich bei Besprechung der Luftheizung folgen.

§. 154.

Ventilation mittels verbesserter Zimmeröfen.

Häufig kommt der Fall vor, dass man von der Nothwendigkeit der beständigen oder periodischen Lufterneuerung in einem Locale überzeugt ist, auch wohl gern sich zur Einrichtung einer Ventilationsanlage verstehen würde, wenn nur nicht dieses und jenes Hinderniss im Wege stände. Ein solches Hinderniss besteht entweder darin, dass man die Anlage und Unterhaltung der Ventilation für ungemein kostspielig oder die Behandlung eines Ventilationsapparates für schwer begreiflich oder für zu mühsam hält, dass man meint, es müssten zum Zwecke der Ventilation gewisse Räumlichkeiten anderen Zwecken entzogen werden; dass man die einmal vorhandenen Heizapparate, die gewöhnlichen Zimmeröfen entfernen zu müssen glaubt, die man jedoch nicht gehörig verwerthen könnte u. s. w. Unter manchen Umständen mögen solche Einwände begründet sein. Doch giebt es noch ein Mittel für die Ventilation geheizter Räume, gegen dessen Anwendung keines jener Hindernisse stichhaltig auftreten kann. Dieses Mittel besteht in einer einfachen Verbesserung, welche an jedem Ofen angebracht werden kann.

Das mittels des im Zimmer geheizten Ofens, welchen man häufig Windofen nennt, eine gute Ventilation erzielt werde, ist noch immer, trotz vieler augenscheinlich widersprechenden Thatsachen, ein viel verbreiteter Irrthum. Die vermeintliche Ventilationsluft dient fast nur zur Nährung des Feuers.

Ist der Ofen ausserhalb des Raumes geheizt, so ist der Uebelstand des heftigen Eindringens der kalten Luft durch die Fenster, des sogenannten Zuges, sowie der Uebelstand der fortwährenden Ueberrieselung und Abkühlung des Fussbodens durch kalte Luft allerdings in so viel geringerem Masse vorhanden, als diese Uebelstände durch die von der Zimmerluft genährte Feuerung veranlasst werden. Dann entgeht aber auch dem Raume sogar die geringe Luftverbesserung, welche der Windofen veranlasst. Alle diese Uebelstände können durch einfache Umänderungen eines jeden gewöhnlichen Ofens beseitigt oder doch vermindert werden. Ob der Ofen von aussen oder von innen geheizt wird, ein Halsofen oder ein Windofen ist, ändert die Einrichtung nicht wesentlich. Es sind hiebei nur die Punkte zu beachten: ob man noch einen geringen Raum des geheizten Locals für den Ofen verwenden darf oder nicht; ob nicht vielleicht der Ofen so schön gebaut ist, dass man denselben durch eine bei geringem Kostenaufwande minder schöne

Umfassung nicht verdecken will (es werden in der That seit einiger Zeit sowohl aus Kacheln wie aus Gusseisen Oefen gefertigt, die ein Zimmer mehr zieren als verunstalten); ob man endlich den Unterschied des Effectes oder der Kosten in Anschlag bringen muss.

Nachdem man auf diese Punkte Rücksicht genommen, wird man eine der folgenden Constructionen wählen können.

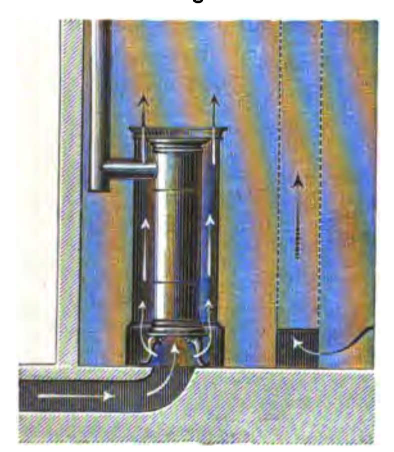
Erste Construction, der Luftkasten-Ofen. — Man legt unmittelbar über den Feuerraum einen Kasten aus Eisenblech oder Gusseisen, oder auch aus gebranntem Thon; der über dem Feuer liegende Boden soll jedenfalls eine gusseiserne Platte sein. An der Seitenwand dieses Kastens, nahe am Boden desselben, ist eine Röhre eingeführt, welche zunächst ausserhalb des Kastens auf etwa 30 Centimeter Tiefe abwärts und dann in irgend einer Richtung, horizontal oder schräg aufwärts oder abwärts nach dem Freien geführt ist. Ferner geht eine Röhre von demselben Querschnitte von der Decke des Kastens oder von einer Seitenwand dicht unter der Decke aus, welche Röhre im Ofen oder an der äusseren Wand desselben etwa so hoch als der Ofen selbst emporgeführt ist. Man erkennt leicht, dass sobald der Ofen warm wird, die äussere Luft in den Kasten fliessen, daselbst erwärmt und durch die beständig nachfliessende äussere Luft gegen die Decke des Raumes gehoben werden muss. Es ist diese gegen die Decke strömende Luft die wärmste, specifisch leichteste Luft des ganzen Raumes; sie kühlt sich allmählich ab und gelangt, durch die noch wärmere von oben verdrängt, immer tiefer herab. Um dieselbe, nachdem sie benützt, verunreinigt ist, hinwegzuführen, bringe man am Boden des Raumes kleine Kanäle nach der Feuerung an, oder nach dem Schornstein oder nach einer anderen in das Freie mündenden verticalen Röhre (Zugesse, Windesse). Wird nur geringe Ventilation erfordert, so können bei dem Windofen schon die Oeffnungen an der Heizthür und zwischen den Roststäben genügen. Eine nach den früher gemachten Angaben aufgestellte Berechnung wird dieses sowohl, wie im anderen Falle die nöthigen Querschnitte anderweitiger Kanäle erkennen lassen. Dass man die Zuflussröhre je nach Umständen aussen erweitern, mit einer Siebeplatte, einem Drahtgitter u. dgl., ferner an irgend einer Stelle mit einem Register, Schieber, einer Klappe u. dgl. versehen wird, ist an sich einleuchtend.

Um, wenn der Luftwechsel nicht mehr nöthig ist und wenn man das Brennmaterial möglichst sparen will, die kälteste Luft am Boden des Zimmers beständig wieder zur Erwärmung zu bringen, auch nach dem Erlöschen des Feuers das weitere Eindringen der kalten Luft zu

verhüten, die Circulation der Zimmerluft jedoch fortsetzen zu können, verbinde man mit dem im Ofen liegenden Kasten noch eine Röhre, welche auf einer Seite des Kastens ihre obere, nahe am Fussboden ihre untere Mündung hat. . Sobald man die Ventilationsröhren oder Kanäle gegen die äussere Luft abgesperrt hat, öffnet man diese Röhre. Alsdann soll aber auch die Zimmerluft nicht mehr in den Feuerraum gelangen können, wesshalb zu diesem Zwecke Halsöfen den Windöfen vorzuziehen sind. Bei letzteren wird alsdann, besonders wenn das Feuer während der Circulation noch erhalten wird, und man desswegen der Zimmerluft den Zutritt zum Feuer gestatten muss, der Zug durch die Fenster und Thüren wieder bemerkbar werden, wenn man nicht einen besonderen Kanal anlegt, um das Feuer von aussen zu nähren.

Zweite Construction, der Mantelofen. — Der Ofen wird ringsum mit einem Mantel von Stein oder Metall versehen, welcher beliebig weit, etwa 10 bis 30 Centimeter vom Ofen absteht und oben ganz oder theilweise offen ist. Am Boden wird die äussere Luft durch eine Röhre zwischen dem Ofen und Mantel eingeführt. Diese Zuflussröhre ist ganz oder theilweise nach Belieben verschliessbar, ist unter der Mündung vom Mantel hinweg zuerst ein wenig abwärts geführt, dann in beliebiger Richtung mit der Atmosphäre in Verbindung gesetzt. Die Luftbewegung, welche nun wie bei der ersten Construction erfolgen muss, sobald die Luft zwischen dem Ofen und dem Mantel wärmer ist als die Luft in der Atmosphäre, bedarf wohl keiner Erklärung mehr. Die kältere verdorbene Luft kann auch hier nach dem Feuerraume, nach dem Schornstein oder nach einer anderen Esse geführt werden, jedenfalls aber vom Boden ab (Fig. 190).

Fig. 190.



Es sei nur noch bemerkt, dass man zum Zwecke der Circulation auch gegen das Zimmer hin eine oder mehrere verschliessbare Oeffnungen am Boden des Mantels anbringen kann; diese Oeffnungen werden geöffnet, sobald man den Zufluss der äusseren Luft, sowie den Abfluss der Zimmerluft absperrt, was man wie bei der ersten Einrichtung

gewöhnlich thun wird, um nach dem Erlöschen des Feuers noch eine angenehme Circulation der Zimmerluft zu unterhalten, oder wenn man überhaupt die Ventilation nicht mehr nöthig hat und das Brennmaterial sparen will. Der von aussen geheizte Mantelofen verdient also wieder den Vorzug vor dem innen geheizten, und vortheilhaft wäre es auch hier, den von innen geheizten so einzurichten, dass er während der Circulation nicht durch die Zimmerluft genährt wird.

Die Vergleichung der beiden Einrichtungen giebt folgende Verschiedenheiten der Wirkung zu erkennen. Bei der Einrichtung des Luftkasten-Ofens wird der Raum des Zimmers allerdings nicht unmittelbar beschränkt; allein die strahlende Wärme ist wie vorher in der Weise wirksam, dass man doch den Raum in einiger Entfernung um den Ofen nicht benützen kann. Bei dem Mantelofen kommt, wenn der Mantel nicht zu schwach aufgeführt ist, die strahlende Wärme fast gar nicht zur Beachtung; beliebige Gegenstände können dicht an den Mantel gerückt werden; derselbe wird bei der beständigen Berührung mit der emporfliessenden kälteren Luft nie in sehr hohem Grade erhitzt. Ferner bewirkt der Mantelofen eine vollständigere Ventilation als der Luftkasten-Ofen, indem die verdorbene Zimmerluft, auch während der Ventilation noch beständig mit dem heisseren Umfange des Röhrenofens in Berührung kommend, wieder erwärmt in die Höhe steigt, sich mit der zugleich aufsteigenden reineren Luft vermischt, während dieses bei dem kälteren Mantel fast gar nicht stattfindet. Auch ermöglicht der Mantelofen ein viel grösseres Ventilationsquantum.

Endlich gewährt der Mantelofen, da der Mantel, wenn er massig ausgeführt wird, während der Heizung eine bedeutende Wärmemenge absorbirt, die er später wieder allmählich an die kältere Luft abgiebt, eine viel anhaltendere Erwärmung des Raumes, als der Luftkasten-Ofen. Aus mehrfachen Gründen dürfte sonach der Mantelofen, und zwar als Halsofen, überhaupt den Vorzug verdienen.

Es mag noch beigefügt werden, dass man auch Luftröhrenöfen construirt hat, bei welchen verticale Luftröhren aussen vom Feuer umgeben sind. Da diese Luftröhren leicht zum Glühen erhitzt werden und dadurch eine nachtheilige Veränderung der Luft herbeigeführt wird, mögen solche Luftröhrenöfen von der Anwendung ausgeschlossen sein.

Auch den vorbeschriebenen Luftkastenofen kann man Luftröhrenofen nennen, weil eine Röhre angewendet ist, um die erwärmte reine Luft aus dem Luftkasten emporzuleiten.

Ueber die Mantelöfen, welche fast unter allen Umständen den

Vorzug verdienen und in der That Gegenstände von grosser Wichtigkeit sind, folgt Ausführlicheres im Abschnitt über Heizung.

Mechanische Ventilation.

§. 155.

Allgemeines über mechanische Ventilation.

Unter mechanischer Ventilation versteht man den mit Anwendung von Maschinen hervorgebrachten Luftwechsel.

Die Lufträume, deren Massen gegenseitig umzutauschen sind, bilden ebenso wie bei den früher dargestellten Lüftungsmethoden communicirende Luftsäulen, welche bei ruhender Maschine mit einander im Gleichgewicht sein können oder nicht. Sind sie im Gleichgewicht, so ist der Fall gegeben, welchen man als den einfachsten oder normalen für die Berechnung der nothwendigen Maschinenarbeit ansehen kann. Doch ist dieser Fall in der Wirklichkeit selten vorhanden, weil in den communicirenden aber doch getrennten Lufträumen die Temperaturen fast niemals gleich sind. Die Arbeit der Maschine darf geringer sein, wenn schon vermöge der vorhandenen Temperaturdifferenz eine Luftströmung in der gewünschten Richtung stattfinden würde, und sie muss grösser sein, wenn die Temperaturverhältnisse eine verkehrte Strömung veranlassen würden.

In ähnlicher Weise sind auch die pressenden und saugenden Wirkungen des Windes sowie die hygrometrischen Zustände der Atmosphäre und der zu ventilirenden Räume von Einfluss; doch mögen letztere Einflüsse als wenig constant in der allgemeinen Berechnung unberücksichtigt bleiben. Sie sind in der Regel auch von geringer Bedeutung gegenüber den vielfachen Verlusten an lebendiger Kraft bei der Benützung von Ventilationsmaschinen. Auf die Temperaturverhältnisse soll aber weiterhin Rücksicht genommen werden; denn die Störungen des Gleichgewichts durch Temperaturdifferenzen sind zuweilen so bedeutend, dass sie nicht wohl ausser Rechnung gelassen werden dürfen, wenn man sich nicht mit rohen Näherungsresultaten begnügen will.

Um eine Luftmasse, welche sich mit der sie umgebenden Atmosphäre im Gleichgewicht befindet, überhaupt nur zu verschieben, dazu ist ausserordentlich wenig Kraft nothwendig. Wenn aber die Verschie-

bung mit grosser Geschwindigkeit erfolgen soll, kann der nöthige Kraftaufwand bedeutend werden; denn er wächst — von anderen Umständen vorerst abgesehen — mit der zweiten Potenz der Geschwindigkeit.

Soll dieselbe Luftmasse M einmal mit der Geschwindigkeit v verschoben werden, dann mit der Geschwindigkeit V, so sind die entsprechenden lebendigen Kräfte:

$$\frac{M}{2} v^2 \text{ und } \frac{M}{2} V^2$$

Diese lebendigen Kräfte verhalten sich wie

$$v^2 : V^2;$$

ebenso verhalten sich auch die für Hervorbringung der Bewegung aufzuwendenden äquivalenten mechanischen Arbeiten.

Für den secundlichen Durchfluss derselben Luftmassen bei gleichbleibender Dichtigkeit durch Oeffnungen bedingen verschieden grosse Durchflussöffnungen andere Geschwindigkeiten im umgekehrten Verhältniss.

Demnach verhalten sich die bei ungleichen Durchflussöffnungen für den Durchfluss gleicher Luftmengen in gleichen Zeiten aufzuwendenden mechanischen Arbeiten umgekehrt wie die zweiten Potenzen der Oeffnungen oder umgekehrt wie die vierten Potenzen der Oeffnungsdurchmesser.

Ist die Luftmasse M in einer Secunde einmal durch eine quadratische Oeffnung von 1 m Kante, also von 1 qm Fläche zu treiben, ein anderesmal durch eine quadratische Oeffnung von 2 m Kante, also von 4 qm Fläche, so verhalten sich

die Geschwindigkeiten wie 4 : 1,
die mechanischen Arbeiten wie 16 : 1,
diese auf die Flächen bezogen wie $4^2 : 1$,
und auf die Durchmesser bezogen wie $2^4 : 1$.

Es sind aber auch die Reibungswiderstände in Kanälen und Röhren zu berücksichtigen. Soll dieselbe Luftmasse in der Zeiteinheit durch zwei Röhren von der gleichen Länge L, aber den ungleichen Durchmessern d und D getrieben werden, welchen die Querschnitte q und Q entsprechen, und sind die zugehörigen Geschwindigkeiten V und v, so bestehen die Gleichungen:

$$qV = Qv$$

$$q : Q = v : V \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1$$

$$d^2 : D^2 = v : V$$

$$d : D = \sqrt{v} : \sqrt{V} \quad \ldots \ldots \quad (2$$

Die Grösse der Reibung oder Friction ist dargestellt durch die Formeln:

$$F = \frac{4\,k\,L\,V^2}{d}$$

$$f = \frac{4\,k\,L\,v^2}{D}$$

Das Verhältniss der Reibungsgrössen ist

$$F : f = \frac{V^2}{d} : \frac{v^2}{D} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3$$

Mit Rücksicht auf Geichung 2

$$F : f = \frac{V^2}{\sqrt{v}} : \frac{v^2}{\sqrt{V}}$$

$$= V^2\sqrt{V} : v^2\sqrt{v}$$

$$= \sqrt{V^5} : \sqrt{v^5}$$

und mit Rücksicht auf Gleichung 1

$$F : f = \sqrt{Q^5} : \sqrt{q^5}$$

was zuweilen für die specielle Rechnung bequemer geschrieben werden kann:

$$F : f = Q^2\sqrt{Q} : q^2\sqrt{q}$$

Ist z. B. $q = 1$ qm und $Q = 4$ qm, so verhält sich

$$F : f = \sqrt{4^5} : \sqrt{1^5}$$

$$= 4^2\sqrt{4} : 1$$

$$= 16 \,.\, 2 : 1$$

$$= \quad 32 : 1$$

In diesem, also stärker als quadratisch wachsenden Verhältniss wird in der engeren Röhre durch die Reibungswiderstände lebendige Kraft aufgezehrt, in demselben Verhältniss ist also auch bei der engeren Röhre zur Ueberwindung der Widerstände grössere mechanische Arbeit aufzuwenden.

Es ist ferner noch die Aufwendung mechanischer Arbeit nöthig für Ueberwindung der Widerstände in den verschiedenen Mechanismen, den Motoren, Transmissionen, Ventilatoren. Eine allgemeine Darlegung oder Formel dieser Widerstände, welche ausserordentlich verschiedenartig sein können, lässt sich nicht geben. Wie jedoch aus später folgenden Untersuchungen zu erkennen sein wird, ist in dem Gesammtmechanismus die Zunahme der Geschwindigkeit von geringerem Einfluss auf den Kraftverbrauch, und man kann desshalb im Allgemeinen mit Berücksichtigung dieser Widerstände sagen, dass bei bestimmtem Ventilationsquantum und ungleichen Röhrenweiten der Gesammtaufwand

an mechanischer Arbeit für Hervorbringung und Unterhaltung der Luftströmung weniger stark wächst als im quadratischen Verhältniss der Geschwindigkeit.

Immerhin geht aus dem Obigen die Wichtigkeit folgender Sätze und Regeln hervor:

1. Bei der mechanischen Ventilation soll man danach trachten, die zu wechselnden Luftmassen mit geringer Geschwindigkeit zu bewegen.

2. Zu diesem Zwecke sind die Querschnitte der Ventilationsöffnungen und Kanäle möglichst gross anzunehmen.

3. Verengungen sind zu vermeiden und zur Verhütung der durch Contraction entstehenden Querschnittsverminderungen sind die Einmündungen mit geeigneter Form und Weite auszuführen.

4. Ventilatoren, welche als Gebläse bei Hochöfen, Schmiedefeuern und anderen Feuerungsanlagen, wo es auf grosse Geschwindigkeit des einzuführenden Luftstrahls ankommt, den grössten Nutzeffect geben, müssen desshalb nicht auch für die Ventilation von Wohnräumen die zweckmässigsten sein. Es ist möglich, dass hier einfachere Ventilatoren grösseren Nutzeffect erzielen lassen, und dieses ist wahrscheinlich, da einer geringen Luftgeschwindigkeit auch nur eine geringe Manometerhöhe, eine geringe Vermehrung oder Verminderung der Luftspannung in den Ventilatoren und Kanälen entspricht, also die Anwendung so starker und folglich schwerer Maschinentheile und der dichte Anschluss einzelner Theile — Bedingungen, durch welche bei Gebläse-Maschinen, welche industriellen Zwecken dienen, bedeutende Widerstände herbeigeführt werden — hier keineswegs als nothwendig anzusehen sind.

Die Thatsache, dass Ventilationsanlagen den Erwartungen oft nicht entsprechen oder nur bei verhältnissmässig grossem und kostspieligem Kraftaufwand genügende Wirkung zeigen, erklärt sich in der Regel aus zu geringen Querschnitten.

Zwar ist es nicht immer möglich, hinreichend weite Kanäle in Mauern von gewöhnlicher Dicke zu legen; aber warum soll man nicht besondere Luftschächte von entsprechender Weite aufführen, gleichwie ja in den alten Zeiten in Wohnhäusern auch Schornsteine gebaut worden sind, welche den Raum eines kleinen Zimmers einnehmen. Immerhin wird durch bauliche Verhältnisse, durch Rücksichten auf Raumbenützung, Construction und Decoration oft ein Maximum von Kanalweiten und Lüftungsöffnungen gegeben sein, wonach man alsdann die Geschwindigkeit der Ventilationsluft berechnen und das Ventilationssystem, eventuell den Ventilator wählen muss.

Bei dem Entwerfen einer Anlage für mechanische Ventilation ist zuerst die Frage zu entscheiden, ob der Luftwechsel durch Eintreiben (Pulsion, Insufflation) äusserer Luft oder durch Absaugung (Aspiration, Suction) der inneren Luft bewerkstelligt werden soll.

In der Regel ist das System der Eintreibung vortheilhafter, weil man dabei sicher ist, dass die durch den Ventilator geförderte Menge reiner Luft in die zu ventilirenden Räume gelangt, während dagegen bei dem System der Absaugung leicht eine grosse Menge schlechter Luft in die ventilirten Zimmer aus angrenzenden und sogar weiter entlegenen Localitäten gelangen kann und um so viel weniger reine Luft aus dem Freien.

Man ist zwar auch bei dem System der Eintreibung nicht sicher, dass die reine Luft völlig ausgenützt und nur die schlechteste Luft des Raumes abgeführt werde; es kann unter Umständen die reinste Luft direct den Abflussöffnungen zufliessen, während die schlechteste Luft zurückbleibt. Doch kommen solche Missstände nur bei unrichtiger Anlage oder vorschriftswidriger Behandlung vor; die Erfahrung hat bereits vielfach bestätigt, dass bei richtiger Anlage und Behandlung das System der Pulsion jenem der Suction in der Regel vorzuziehen ist.

§. 156.

Mechanische Arbeit und Effect des bewegten Wassers und der bewegten Luft.

Die Untersuchungen über die mechanische Arbeit des bewegten Wassers sind hier am Platze, weil mitunter Wasserkraft in freien Wasserläufen oder in Röhrenleitungen für mechanische Ventilation Verwendung findet und dann die Berechnung dieses Motors nothwendig ist.

Bei der Berechnung der mechanischen Arbeit des bewegten Wassers ist zu unterscheiden, ob das Wasser sich frei fallend oder frei fliessend oder in Röhren fliessend bewegt.

Wenn Wasser von einer gewissen Höhe frei herabfällt, ist seine mechanische Arbeit gleich derjenigen, welche nöthig ist, um eine ebenso grosse Wassermenge auf die gleiche Höhe zu heben.

Bei Triebwerken an Bächen oder Gerinnen mit frei fallendem Wasser berechnet man die mechanische Arbeit, indem man die beim Beharrungszustande in einem Querschnitte des Wasserlaufs durch Messung und Rechnung gefundene Durchflussmenge einer Secunde mit dem Gefälle, nämlich dem verticalen Abstande des Oberwasserspiegels vom

Unterwasserspiegel multiplicirt. Ist die secundliche Durchflussmenge P Kilogramm und das Gefälle H Meter, so ist die mechanische Arbeit in der Secunde oder der Effect

$$E = P \,.\, H \text{ Secunden-Meter-Kilogramm}$$

oder in Pferdekraft ausgedrückt

$$E_1 = \frac{P \,.\, H}{75} \text{ Pferdekraft.}$$

Mit dem Satze:

„Fällt ein Gewicht P in einer Secunde durch die Höhe H, so ist der Effect $P \,.\, H$ Secunden-Meter-Kilogramm"

scheint Vorstehendes nicht in Einklang zu sein, weil das Gefälle H in der Regel grösser oder kleiner sein wird als die Fallhöhe für eine Secunde.

Dennoch ist obige Berechnungsweise richtig. Für die Grösse der mechanischen Arbeit an sich ist die Dauer des Fallens gleichgültig. Kommen in irgend einer Zeit P Kilogramm Wasser, nachdem sie durch die Höhe H gefallen sind, am Unterwasserspiegel an, so ist die mechanische Arbeit $P \,.\, H$ Meter-Kilogramm, und kommen sie in n Secunden an, so ist die mechanische Arbeit für die Secunde oder der Effect $\frac{1}{n} PH$ Sec.mkg. Es könnten durch die gleiche mechanische Arbeit in einer Secunde auch nur $\frac{1}{n}$ P kg auf die Höhe H gehoben werden.

Wenn aber beim Beharrungszustande die Durchflussmenge in der Secunde P Kilogramm beträgt, so kommen in der Secunde auch P kg am Unterwasserspiegel an; da sie die Höhe H durchfallen haben, so ist die mechanische Arbeit überhaupt $P \,.\, H$ mkg, und da sie in einer Secunde ankommen, so ist auch die mechanische Arbeit für die Secunde oder der Effect

$$E = P \,.\, H \text{ Sec.mkg}$$

$$E_1 = \frac{P \,.\, H}{75} \text{ Pferdekraft.}$$

Will man auf die Dauer des Fallens specieller eingehen, so ist die Betrachtung beispielsweise folgende:

Die Durchflussmenge in einer Secunde sei P kg, die Dauer des Fallens 3 Secunden. Die Durchflussmenge in 3 Secunden ist 3 P kg, und es kommen auch 3 P kg Wasser, welche durch den Raum H gefallen sind, in 3 Secunden am Unterwasserspiegel an. Die mechanische Arbeit für 3 Secunden ist demnach 3 PH mkg, folglich für eine Secunde

$$\frac{3\,PH}{3} = PH \text{ Sec.mkg.}$$

Wäre bei derselben secundlichen Durchflussmenge $\mathfrak{P}$ die Fallzeit nur eine halbe Secunde, so wäre für diese Dauer die Durchflussmenge 0,5 P kg, und es würden in der halben Secunde auch nur 0,5 P kg Wasser unten ankommen. Die mechanische Arbeit wäre für die halbe Secunde auch nur 0,5 PH mkg, also für die ganze Secunde

$$2 \,.\, 0{,}5\; PH = PH \text{ Sec.mkg, oder}$$

$$E_1 = \frac{PH}{75} \text{ Pferdekraft.}$$

Setzt man in einem dieser Beispiele

$$P = 75 \text{ kg und } H = 1 \text{ m}$$

oder allgemein, wenn n irgend eine ganze oder gebrochene Zahl bedeutet,

$$P = n \,.\, 75 \text{ kg und } H = \frac{1}{n} \text{ Meter,}$$

also überhaupt das Product

$$P \,.\, H = 75$$

so wird

$$E_1 = \frac{75}{75} = 1 \text{ Pferdekraft.}$$

Dessenungeachtet kann man nicht ohne alle Rücksicht auf die Zeit sagen:

„75 Liter Wasser 1 Meter hoch herabfallend geben eine Pferdekraft,“

wie es in manchen Büchern zu lesen ist. Die Zeit einer Secunde ist immer dabei in Betracht zu ziehen. Zwar ist es nicht nothwendig, dass das Herabfallen in einer Secunde geschieht, was zufällig sich treffen kann, aber die secundliche Wassermenge ist Bedingung.

Man kann demnach richtig und allgemein sagen:

Die secundliche Wassermenge $n \,.\, 75$ Liter $\frac{1}{n}$ Meter hoch herabfallend giebt eine Pferdekraft.

Immerhin gilt dieses nur von der absoluten oder theoretischen Wasserkraft, nicht aber von dem Nutzeffect, worüber an geeigneten Stellen Erklärungen folgen werden.

Bei der Berechnung der mechanischen Arbeit des mit der Geschwindigkeit c frei fliessenden oder aus einer Röhre strömenden Wassers ist die Höhe H als Geschwindigkeitshöhe für die Geschwindigkeit c zu bestimmen, nämlich $H = \frac{c^2}{2g}$, und diese Höhe als das Gefälle des frei

fallenden Wassers zu betrachten. Es ist also hiebei die mechanische Arbeit für die Secunde oder der Effect

$$E = P \,.\, H = P \frac{c^2}{2g} \text{ Sec.mkg,}$$

wobei P Kilogramm das Gewicht der in einer Secunde auf die fortzudrückende Fläche (Radschaufel des Triebwerks, Flügelrad u. dgl.) geleitete Wassermenge, c Meter die secundliche Geschwindigkeit dieses Wassers und $g = 9{,}81$ Meter ist.

In derselben Weise ist die Rechnung aufzustellen, um die mechanische Arbeit frei bewegter Luft bei Windmühlen u. dgl. zu finden. Die allgemeinen Formeln sind die gleichen.

Auch die mechanische Arbeit der in einer Röhre vom gleichmässigen Querschnitt F mit der Geschwindigkeit C sich bewegenden oder durch die Röhrenmündung von der Grösse F mit der Geschwindigkeit C ausströmenden Luft findet man nach der Gleichung:

$$E = PH = FCp \frac{C^2}{2g} \text{ Sec.mkg,}$$

wenn P das Gewicht der in einer Secunde ausfliessenden Luftmenge, p das Gewicht von einem Cubikmeter Luft und H die der secundlichen Geschwindigkeit C angehörende Geschwindigkeitshöhe bedeuten.

Die Messung der in die Gleichungen einzuführenden Luft- und Wasser-Geschwindigkeiten C und c betreffend mag beigefügt werden, dass man, wie die Luftgeschwindigkeiten mit dem statischen Anemometer (Fig. 90) ebenso leicht und schnell die Geschwindigkeit des fliessenden Wassers mittels des statischen Strommessers finden kann, welchen ich nach denselben Principien construirt habe.*)

Die Geschwindigkeit des aus einer engen Röhre fliessenden Wassers wird sich in den meisten Fällen leicht aus der in einer bestimmten Anzahl von Secunden aufgefangenen Wassermenge und dem Ausflussquerschnitt berechnen lassen. Für andere Fälle geben die in den nächsten Paragraphen folgenden Untersuchungen Anleitung, da die allgemeinen Formeln für Wasser wie für Luft gelten.

---

*) Wolpert's statischer Strommesser wird in der mechanischen Anstalt von Otto Fennel in Cassel angefertigt.

§. 157.

Beziehungen zwischen der Wirkungsgrösse bewegter Flüssigkeiten, der lebendigen Kraft und der für die Bewegung aufzuwendenden theoretischen Arbeit.

Die Wirkungsgrösse einer bewegten Flüssigkeit muss gleichwerthig sein einerseits mit der mechanischen Arbeit des Ueberdrucks, wodurch die Bewegung hervorgebracht wird, andererseits mit der lebendigen Kraft der bewegten Masse.

Auf einen bestimmten Querschnitt bezogen ist die secundliche mechanische Arbeit des Ueberdrucks dieser Ueberdruck in Kilogramm multiplicirt mit dem Weg in Meter, auf welchen hin der Ueberdruck in einer Secunde wirksam ist.

Für Wasser, welches sich mit der Geschwindigkeit c durch die Querschnittsfläche F bewegt, ist der Ueberdruck gleich dem Gewichte einer Wassersäule, deren Grundfläche der Querschnitt F und deren Höhe die Geschwindigkeitshöhe $H = \frac{c^2}{2g}$ ist, also

$$\text{Ueberdruck} = FH \,.\, 1000 \text{ kg}$$

und der Weg, auf welchen hin dieser Ueberdruck in der Secunde wirkt, ist die secundliche Geschwindigkeit c Meter, also die mechanische Arbeit A des Ueberdrucks:

$$A = (FH \,.\, 1000)\, c \text{ Sec.mkg} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Für die mechanische Arbeit oder Wirkungsgrösse des fliessenden oder fallenden Wassers ist das Gewicht der in einer Secunde ankommenden Wassermenge in Bezug auf die Fläche F

$$P = F \,.\, c \,.\, 1000 \text{ kg}$$

und die Geschwindigkeitshöhe

$$H = \frac{c^2}{2g} \text{ Meter,}$$

demnach die Wirkungsgrösse in der Secunde

$$P \,.\, H = (F \,.\, c \,.\, 1000)\, H \text{ Sec.mkg} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

also identisch mit Gleichung 1.

Die lebendige Kraft der mit der Geschwindigkeit c fliessenden oder fallenden Wassermasse vom Querschnitt F ist

$$\frac{Mc^2}{2} = \frac{P}{g}\,\frac{c^2}{2} = P\,\frac{c^2}{2g} = F \,.\, c \,.\, 1000 \,.\, H \text{ Sec.mkg} \quad . \quad (3$$

also wieder derselbe Werth wie in Gleichung 1 und 2.

Für bewegte Luft (von der normalen oder irgend einer anderen

Dichtigkeit) kann man den Ueberdruck in Kilogramm ausdrücken durch das Gewicht einer Luftsäule (von derselben Dichtigkeit), deren Grundfläche der Querschnitt F ist und deren Höhe die Geschwindigkeitshöhe. Ist diese, der Luftgeschwindigkeit C Meter entsprechend H Meter, so ist der Ueberdruck bei normaler Dichtigkeit:

$$F \,.\, H \,.\, 1{,}293 \text{ kg}.$$

Die mechanische Arbeit des Ueberdrucks:

$$(FH \,.\, 1{,}293)\; C \text{ Sec.mkg} \quad \ldots \ldots \quad (4$$

Für die mechanische Arbeit oder Wirkungsgrösse der bewegten Luft ist das Gewicht der in einer Secunde auf der Fläche F ankommenden Luftmenge:

$$(FC \,.\, 1{,}293) \text{ kg}$$

und die Geschwindigkeitshöhe H Meter, also die Wirkungsgrösse der bewegten Luft:

$$(FC \,.\, 1{,}293)\; H \text{ Sec.mkg} \quad \ldots \ldots \quad (5$$

Die lebendige Kraft der mit der Geschwindigkeit C sich bewegenden Luftmasse vom Querschnitt F ist:

$$\frac{MC^2}{2} = \frac{P}{g} \,.\, \frac{C^2}{2} = P\frac{C^2}{2g} = FC \,.\, 1{,}293 \,.\, H \quad \ldots \quad (6$$

Die Werthe in 4, 5 und 6 sind wieder gleich.

Da $H = \frac{C^2}{2\,g}$ ist, kann man den Ausdruck der secundlichen mechanischen Arbeit sowie des Effectes auch schreiben:

$$E = \frac{F \,.\, 1{,}293\; C^3}{2\,g} \text{ Sec.mkg.}$$

Danach kann die theoretische Arbeit berechnet werden, welche aufzuwenden ist, um der Luft die Geschwindigkeit C zu ertheilen.

Bei manchen Einrichtungen und Berechnungen eignet sich die Einführung von Wassersäulenhöhen anstatt der Höhen der den Ueberdruck vorstellenden Luftsäulen. Es ist offenbar gleichgültig, ob man den Ueberdruck in Kilogramm durch Berechnung des Gewichts der drückenden Luftsäule von der Höhe H Meter findet, oder durch Berechnung des Gewichts einer h Meter hohen Wassersäule, welche einen gleich grossen Druck ausübt und welche in Wirklichkeit durch jenen Ueberdruck gehoben wird. Die Höhe einer solchen Wassersäule wird durch Wasser-Manometer angegeben.

Für die Manometerhöhe h Meter ist der Ueberdruck

$$Fh \,.\, 1000 \text{ kg}$$

und folglich die mechanische Arbeit des Ueberdrucks

$$(Fh \,.\, 1000) \,.\, C \text{ Sec.mkg} \quad \ldots \ldots \quad (7$$

Für dieselben Druckverhältnisse muss die Proportion bestehen:

$$H : h = 1000 : 1{,}293$$

$$H = \frac{1000\ h}{1{,}293}$$

Setzt man diesen Werth für H in den obigen Ausdruck 4 der mechanischen Arbeit des Ueberdrucks ein, so ist diese für die Wassersäulenhöhe h

$$F\left(\frac{1000\ h}{1{,}293} \cdot 1{,}293\right) C \text{ oder}$$

$$(F\ 1000\ h)\ C \text{ Sec.mkg.} \qquad \qquad (8$$

also derselbe Werth wie in 7.

Speciellere Berechnungen mit Rücksicht auf die veränderliche Luftdichtigkeit und die Bewegungswiderstände folgen in den nächsten Paragraphen.

§. 158.

Berechnung des Kraftaufwandes für mechanische Ventilation.

Ist für den Entwurf einer mechanischen Ventilationsanlage festgestellt, dass die Luftmenge N Cubikmeter in der Secunde eingeführt werden muss, und ist für den möglichst gross anzunehmenden Querschnitt der Ventilationskanäle die Grösse Q Quadratmeter festgesetzt, so ergiebt sich als die nothwendige Luftgeschwindigkeit

$$v = \frac{N}{Q} \text{ Meter in der Secunde,}$$

und die Ventilationsmaschine ist der Art zu wählen, dass die Luftmenge

$$N = Q\ v \text{ Cubikmeter in der Secunde}$$

bei den vorhandenen Widerständen mit der wirklichen Geschwindigkeit v geliefert werden kann.

Dieser Wahl des Ventilators muss aber noch die Berechnung vorausgehen, wie viele Secunden-Meter-Kilogramm als Nutzeffect der Maschine zu fordern sind.

Man kann zunächst den der erforderlichen Luftgeschwindigkeit entsprechenden Ueberdruck durch eine Luftsäule oder Wassersäule ausdrücken.

Wären keine Bewegungswiderstände vorhanden und wären die Luftsäulen auf beiden Seiten des Ventilators im Gleichgewicht, so wäre die gesuchte Luftsäulenhöhe H_1 gleich der Geschwindigkeitshöhe, also

$$H_1 = \frac{v^2}{2g} \text{ Meter,}$$

und diese würde für eine Luftsäule von der Beschaffenheit, also von dem specifischen Gewichte, der Temperatur der durch den Ventilator zu fördernden Luft gelten.

Diese Geschwindigkeitshöhe, als Wassersäulenhöhe ausgedrückt, ist in Bezug auf Luft von der Temperatur T^0 C.:

$$h_1 = \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1{,}293}{1000\,(1 + aT)} \text{ Meter.}$$

Die Widerstandshöhe H_2, welche den Druckhöhenverlust durch Reibung in einer Luftleitung von L Meter Länge, U Meter Querschnittsumfang und Q Quadratmeter Querschnittsfläche bei der Geschwindigkeit v darstellt, ist als Luftsäulenhöhe:

$$H_2 = \frac{k\,L\,U\,v^2}{Q} \text{ Meter,}$$

und als Wassersäulenhöhe in Bezug auf die Lufttemperatur T^0 C.:

$$h_2 = \frac{k\,L\,U\,v^2}{Q} \cdot \frac{1{,}293}{1000\,(1 + aT)} \text{ Meter.}$$

Sind die beiderseitigen Luftsäulen von der Höhe H nicht im Gleichgewicht, indem ihre Temperaturen T^0 und t^0 sind, so ist die Ueberdruckhöhe H_3 für die zu bewegende Luftsäule von der höheren Temperatur T^0 als Luftsäulenhöhe:

$$H_3 = \frac{H\,(T - t)}{273 + t} \text{ Meter,}$$

und als Wassersäulenhöhe ausgedrückt:

$$h_3 = \frac{H\,(T - t)}{273 + t} \cdot \frac{1{,}293}{(1 + aT)\,.\,1000} \text{ Meter.}$$

Unter gleichen Umständen ist für die Bewegung der Luftsäule von der geringeren Temperatur t^0 die Ueberdruckhöhe als Luftsäulenhöhe:

$$H_4 = \frac{H\,(T - t)}{273 + T} \text{ Meter,}$$

und die entsprechende Wassersäulenhöhe:

$$h_4 = \frac{H\,(T - t)}{273 + T} \cdot \frac{1{,}293}{(1 + at)\,.\,1000} \text{ Meter.}$$

Für h_4 muss sich derselbe Zahlenwerth wie für h_3 ergeben und ergiebt sich auch, weil 273 aus $\frac{1}{a}$ entstanden ist (vgl. §. 68). Doch ist es für die weiteren Untersuchungen zweckmässig, die formelle Verschiedenheit beizubehalten.

Es sind nun für die bereits angedeuteten drei Fälle die Summen

der betreffenden Luftsäulenhöhen und Wassersäulenhöhen anzugeben. Man hat alsdann wegen gleicher oder entgegengesetzter Bewegungsrichtung fünf Fälle zu unterscheiden.

1. Die beiden Luftsäulen seien bei ruhendem Ventilator im Gleichgewicht; dann verlangt der Ueberdruck für Erzeugung der Luftgeschwindigkeit v bei irgend einer constanten Temperatur die Luftsäulenhöhe:

$$H_1 + H_2 = \frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} \text{ Meter} \quad \ldots \ldots (1$$

und als Wassersäulenhöhe in Bezug auf jene constante Temperatur T^0 der zu bewegenden Luft:

$$h_1 + h_2 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q}\right) \cdot \frac{1{,}293}{1000\,(1 + aT)} \text{ Meter} \quad . (I$$

2. Haben die beiderseitigen Luftsäulen die Temperaturen T^0 und t^0, und soll die Bewegung bei der mechanischen Ventilation in derselben Richtung wie bei dem Luftwechsel vermöge der Temperaturdifferenzen stattfinden, so ist die dem nöthigen Ueberdruck entsprechende Luftsäulenhöhe für die Bewegung der Luft von der höheren Temperatur T^0 C.:

$$H_1 + H_2 - H_3 = \frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+t} \text{ Meter} \quad . (2$$

und die entsprechende Wassersäulenhöhe:

$$h_1 + h_2 - h_3 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+t}\right) \frac{1{,}293}{1000\,(1+aT)} \text{ Meter} \quad (II$$

dann für die Bewegung der Luft von der geringeren Temperatur t^0 C. die Luftsäulenhöhe:

$$H_1 + H_2 - H_4 = \frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+T} \text{ Meter} \quad (3$$

und als Wassersäulenhöhe:

$$h_1 + h_2 - h_4 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+T}\right) \frac{1{,}293}{1000\,(1+at)} \text{ Meter} \quad (III$$

3. Ist die natürliche Bewegung der Luftmassen der durch den Ventilator bezweckten Richtung entgegengesetzt, und ist die Luft von der höheren Temperatur T^0 zu senken, so verlangt der Ueberdruck für Erzeugung der Luftgeschwindigkeit v die Luftsäulenhöhe:

$$H_1 + H_2 + H_3 = \frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+t} \text{ Meter} \quad . (4$$

oder die Wassersäulenhöhe

$$h_1 + h_2 + h_3 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{kLUv^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+t}\right) \frac{1{,}293}{1000\,(1+aT)} \text{ Meter} \quad (IV$$

wenn aber die Luft von der geringeren Temperatur t^0 zu heben ist, die Luftsäulenhöhe:

$$H_1 + H_2 + H_4 = \frac{v^2}{2g} + \frac{k L U v^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+T} \text{ Meter} \quad . \quad . \quad (5$$

oder die Wassersäulenhöhe:

$$h_1 + h_2 + h_4 = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{k L U v^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+T}\right) \frac{1{,}293}{1000(1+at)} \text{ Meter} \quad (V$$

In den Gleichungen I bis V sind die den verschiedenen Fällen entsprechenden Wassersäulenhöhen aufgeführt, deren Kenntniss bei manchen Untersuchungen, Experimenten und Anwendungen von Wichtigkeit ist.

Um mittels der Gleichungen 1 bis 5 oder I bis V die aufzuwendenden mechanischen Arbeiten in Secunden-Meter-Kilogramm für jeden einzelnen Fall zu berechnen, ist jedesmal der in Kilogramm auszudrückende, der Luft- oder Wassersäulenhöhe entsprechende Ueberdruck auf die Querschnittsfläche Q zu multipliciren mit dem secundlichen Weg, auf welchen hin jener Ueberdruck wirkt, also mit der verlangten secundlichen Geschwindigkeit v.

Der in Kilogramm zu bestimmende Ueberdruck muss sich ebenso aus den Gleichungen für die Luftsäulenhöhen ergeben, wie aus jenen für die Wassersäulenhöhen. Die ersteren sind für die Lufttemperatur T^0 C. mit $\frac{1{,}293}{1+aT}$ kg, als dem Gewichte von einem Cubikmeter Luft von der Temperatur T^0, zu multipliciren, die letzteren mit 1000 kg, als dem Gewichte von einem Cubikmeter Wasser.

Es ergeben sich demnach die secundlichen mechanischen Arbeiten oder Effecte wie folgt:

I. Wenn die beiderseitigen Lufttemperaturen gleich sind und zwar T^0:

$$E = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{k L U v^2}{Q}\right) . Q . \frac{1{,}293}{1+aT} . v \text{ Sec.mkg.}$$

II. Wenn die beiderseitigen Lufttemperaturen T^0 und t^0 sind und die Bewegung der Luft von der Temperatur T^0 in der Richtung des vorhandenen Ueberdrucks bewirkt werden soll:

$$E = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{k L U v^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+t}\right) Q \frac{1{,}293}{1+aT} v \text{ Sec.mkg.}$$

III. Wenn die beiderseitigen Lufttemperaturen T^0 und t^0 sind und die Bewegung der Luft von der Temperatur t^0 in der Richtung des vorhandenen Ueberdrucks bewirkt werden soll:

$$E = \left(\frac{v^2}{2g} + \frac{k L U v^2}{Q} - \frac{H(T-t)}{273+T}\right) Q \frac{1{,}293}{1+at} v \text{ Sec.mkg.}$$

IV. Wenn die beiderseitigen Lufttemperaturen T^0 und t^0 sind und die Bewegung der Luft von der Temperatur T^0 dem vorhandenen Ueberdruck entgegen bewirkt werden soll:

$$E = \left(\frac{v^2}{2\,g} + \frac{k\,L\,U\,v^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+t}\right) Q \frac{1{,}293}{1+a\,T} v \text{ Sec.mkg.}$$

V. Wenn die beiderseitigen Lufttemperaturen T^0 und t^0 sind und die Bewegung der Luft von der Temperatur t^0 dem vorhandenen Ueberdruck entgegen bewirkt werden soll:

$$E = \left(\frac{v^2}{2\,g} + \frac{k\,L\,U\,v^2}{Q} + \frac{H(T-t)}{273+T}\right) Q \frac{1{,}293}{1+a\,t} v \text{ Sec.mkg.}$$

Um den gefundenen Effect E in Pferdekraft E_1 oder Mannskraft E_2 auszudrücken, wird nach §. 8 jedesmal einfach gesetzt:

$$E_1 = \frac{E}{75} \text{ Pferdekraft}$$

$$E_2 = \frac{E}{6} \text{ Mannskraft.}$$

In obigen Gleichungen ist

$g = 9{,}81$
$k = 0{,}0003$ (genauer $0{,}000\,305\,8$, vgl. §. 84)
$a = 0{,}003\,665$
T und t immer in Celsius-Graden.

In allen vorstehenden Gleichungen, worin als zweiter Summand $\frac{k\,L\,U\,v^2}{Q}$ vorkommt, kann dieser Quotient bei Kanälen und Röhren von quadratischem oder kreisförmigem Querschnitt etwas vereinfacht werden; denn es ist (nach §. 83) bei dem Durchmesser D

$$\frac{U}{Q} = \frac{4}{D}$$

In jenen Gleichungen darf alsdann gesetzt werden:

$$\frac{k\,L\,U\,v^2}{Q} = \frac{4\,k\,L\,v^2}{D}$$

Die berechneten Effecte sind als nothwendige Nutzeffecte der in Anwendung zu bringenden Ventilationsmaschinen anzusehen.

§. 159.

Kürzere, approximative Berechnung der Pressionen in Wassersäulenhöhen und der Effecte.

Lässt man die Ungleichheit der Temperaturen und sonstige zufällige Störungen des Gleichgewichts in den zu wechselnden Luftmassen

unberücksichtigt, nimmt man dabei an, dass 1 Cubikmeter Wasser 800 mal so schwer sei als 1 Cubikmeter der zu fördernden Luft, und setzt man quadratischen oder kreisförmigen Querschnitt der Luftkanäle voraus, oder auch oblongen, wobei man für D das arithmetische Mittel der ungleichen Weiten annehmen mag; so ergiebt sich folgende Näherungsrechnung:

Nach §. 80 kann man die Manometerhöhe oder Wassersäulenhöhe, welche der secundlichen theoretischen Luftgeschwindigkeit v entspricht, aus der einfachen Näherungsgleichnung entnehmen

$$v = 4 \,.\, \sqrt{h_1} \text{ Meter in der Secunde,}$$

wobei h_1 als Wassersäulenhöhe in Millimetern gilt. In den folgenden Gleichungen bleiben jedoch die Werthe für v, L, D immer in Metern geltend.

Es ist also bei gegebener oder verlangter Luftgeschwindigkeit v Meter die gesuchte Geschwindigkeitshöhe als Wassersäulenhöhe h_1 ausgedrückt:

$$h_1 = \frac{v^2}{4^2} = \frac{v^2}{16} = 0{,}0625\; v^2 \text{ Millimeter} \quad . \; . \; . \; . \; (1$$

Für Reibungsverluste kann man als Wassersäulenhöhe h_2' setzen:

$$h_2 = \frac{4\,k\,L\,v^2}{D} \cdot \frac{1}{800}$$

$$h_2 = \frac{4 \,.\, 0{,}0003\; L\, v^2}{800\; D}$$

$$h_2 = \frac{0{,}000\,001\,5\; L\, v^2}{D} \text{ Meter, oder}$$

$$h_2 = \frac{L\; v^2}{D} \,.\, 0{,}0015 \text{ Millimeter} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (2$$

Die gesammte Wassersäulenhöhe ist demnach:

$$h_1 + h_2 = 0{,}0625\; v^2 + \frac{L v^2}{D}\; 0{,}0015$$

$$h_1 + h_2 = v^2 \left(0{,}0625 + 0{,}0015\; \frac{L}{D}\right) \text{ Millimeter} \quad . \; . \; . \; (3$$

Die Pression einer Wasserschicht von 1 Millimeter Höhe ist 1 Kilogramm pro Quadratmeter. Folglich ist die Pression P obiger Wassersäulenhöhe auf Q Quadratmeter der gedrückten Fläche:

$$P = Q\; v^2 . \left(0{,}0625 + 0{,}0015\; \frac{L}{D}\right) \text{ Kilogramm} \quad . \; . \; . \; (4$$

Der Effect wird alsdann, indem die Pression P Kilogramm auf den Weg v Meter hin in der Secunde wirksam ist:

$$E = Q v^3 \left(0{,}0625 + 0{,}0015 \frac{L}{D}\right) \text{ Sec.mkg.} \quad . \quad . \quad . \quad (5$$

oder

$$E_1 = \frac{Q v^3}{75} \left(0{,}0625 + 0{,}0015 \frac{L}{D}\right) \text{ Pferdekraft} \quad . \quad . \quad (6$$

oder

$$E_2 = \frac{Q v^3}{6} \left(0{,}0625 + 0{,}0015 \frac{L}{D}\right) \text{ Mannskraft} \quad . \quad . \quad (7$$

§. 160.

Folgerungen aus den Effects-Gleichungen bei veränderlicher Geschwindigkeit.

Nach den letzten Näherungsgleichungen des Effects müsste der Aufwand an mechanischer Arbeit bei denselben Dimensionen für Q, L und D sogar mit der dritten Potenz der Luftgeschwindigkeit v wachsen. Dabei wächst aber die gelieferte Luftmenge zugleich im geraden Verhältnisse mit der Luftgeschwindigkeit v. Bei der zwei-, drei-, vierfachen Geschwindigkeit ist zwar der Arbeitsaufwand der 8-, 27-, 64-fache, aber die gelieferte Luftmenge wird die 2-, 3-, 4fache, so dass sich für die einfache Luftmenge der 4-, 9-, 16fache Arbeitsaufwand ergiebt.

Sollen aber bei verschiedenen Geschwindigkeiten in gleichen Zeiten gleiche Luftmengen geliefert werden und zwar jedesmal die verlangte Luftmenge $N = Q \, . \, v$ Cubikmeter in der Secunde, so muss Q in entgegengesetzter Weise wie v geändert sein. Diese Aenderung des Querschnitts Q bedingt eine Aenderung des Durchmessers D in gleichem Sinne und zwar im Verhältniss der Quadratwurzel aus Q.

Der Einfluss dieser Aenderung auf die nothwendige mechanische Arbeit lässt sich im Allgemeinen erkennen, wenn man die obige Gleichung 5 des Effects schreibt:

$$E = (Q \, v) \, v^2 \left(0{,}0625 + 0{,}0015 \frac{L}{D}\right) \text{ Sec.mkg.} \quad . \quad . \quad (8$$

Da mit der Abnahme von D der Werth für E wächst, aber nicht im geraden Verhältniss, sondern weniger, so wächst auch bei der Förderung eines bestimmten Luftquantums durch engere Röhren die aufzuwendende mechanische Arbeit, mit Rücksicht auf Luftreibung in den Röhren und Kanälen mehr als mit dem Quadrate der Luftgeschwindigkeit, doch nicht mit der dritten Potenz.

Dieses stimmt mit einer ähnlichen Folgerung in §. 155 überein und hat Geltung, so lange die Widerstände in den Ventilationsmaschinen nicht in Betracht kommen, also für deren Nutzeffect.

§. 161.

Ventilations - Maschinen.

In §. 155 wurde bereits begründet, dass die mechanische Ventilation nach dem System der Lufteintreibung jener nach dem System der Luftabsaugung in der Regel vorzuziehen ist. Desshalb soll bei den folgenden Mittheilungen vorzugsweise das System der Lufteintreibung berücksichtigt werden. Man wird jedoch leicht erkennen, dass fast alle Pulsions- oder Insufflations-Ventilatoren entweder bei verlegten Kanalanschlüssen oder bei umgekehrter Bewegungsrichtung der die Luft pressenden Maschinentheile auch als Luftsauger, Suctions- oder Aspirations-Ventilatoren benützt werden können.

Verschiedene Prinzipien solcher Maschinen mögen nun an einigen älteren und neueren Ventilatoren vorgeführt werden.

1. Eine sehr einfache Vorrichtung ist der Kastenventilator mit Ventilklappen am Kolben. Er kann leicht von Holz angefertigt werden. In einem Kasten, einer weiten Röhre von quadratischem oder oblongem Querschnitt lässt sich ein Brett als Kolben hin und her bewegen, woran einige Oeffnungen ausgeschnitten sind, die durch den Ueberdruck der Luft bei der Bewegung nach der einen Seite mittels leichter oder durch Gegengewichte balancirter Klappen von Glimmer, Taffet, Leder, Blech u. dgl. geschlossen werden, während bei der Bewegung nach der anderen Seite die Klappen von den Oeffnungen abstehen, also die Luft hindurchlassen. Correspondirende Saug- und Druckventile sind auch an den beiden mit dem Kolben parallelen Kastenwänden angebracht. Bei jedem Kolbenhub oder Kolbenspiel kann eine Luftmenge gefördert werden, deren Volumen dem Rauminhalte des Kastens nahezu gleich ist. Der Ventilator ist jedoch nur einfach wirkend, d. h. das Ansaugen und Ausblasen der Luft wechselt bei seiner Bewegung ab, so dass der erzeugte Luftstrom ein periodischer ist wie bei einem gewöhnlichen Blasbalg.

2. Noch einfacher ist der Kastenventilator mit vollem Kolben und entgegengesetzten Ventilklappen an einem Kastenende.

Seine Wirkung ist wie die des vorigen, doch kann er auch als doppelt wirkender Ventilator oder Doppelbläser ausgeführt werden, der einen ziemlich continuirlichen Luftstrom erzeugt, indem nämlich an beiden Kastenenden die entgegen gesetzten Ventilklappen angebracht werden und die nach der einen oder nach der anderen Seite hin gepresste Luft ausserhalb des Kolbenkastens in einer gemeinsamen Röhre vereinigt wird.

3. Bei wesentlich gleicher Einrichtung kann anstatt des parallelepipedischen hölzernen Kastens ein Cylinder, zweckmässig von Gusseisen, zur Anwendung kommen, in welchem Falle man die Vorrichtung Cylinderventilator nennt.

Die Cylinder- und Kastenventilatoren kann man auch allgemein als Kolbenventilatoren bezeichnen. Bei den einfach wirkenden Kolbenventilatoren wird die bewegende Kraft weniger günstig verwendet, als bei den doppelt wirkenden; doch ist es auch bei letzteren ungünstig, dass die Bewegungsrichtung fortwährend wechselt, folglich die Inertie in so weit nicht vortheilhaft sondern nachtheilig zur Wirkung gelangt. Ferner entstehen Effectverluste bei den Kolbenventilatoren dadurch, dass entweder die Kolben dicht schliessen, dann aber viel Reibung haben, oder dass sie leicht gehen, aber Luft durchlassen. Letzterer Umstand ist jedoch nicht von sehr grosser Bedeutung, wenn man nach den oben gegebenen Regeln sowohl der Luftleitung als auch dem Kolben möglichst grossen Querschnitt giebt und die Bewegung mit geringer Geschwindigkeit vor sich gehen lässt; es wird alsdann auch die Differenz der Luftspannungen so gering, dass nur verhältnissmässig wenig Luft entweicht.

4. In ähnlicher Weise wie die Kolbenventilatoren, nämlich mit abwechselnder Bewegungsrichtung wirken die Lufttrommel-Ventilatoren. Der Cylinder mit verticaler Axe, hier Lufttrommel, ist oben geschlossen und in verticaler Richtung beweglich, während der Kolben durch einen Wasserring ersetzt ist, welcher vollständig dichten Schluss bildet, ohne die Beweglichkeit bedeutend zu vermindern. Es ist im Wesentlichen dieselbe Einrichtung wie die der Gasometer. Zweckmässig werden zwei Lufttrommeln oder Glocken neben einander angebracht, welche sich gegenseitig das Gleichgewicht halten. Die Luftkanäle können sämmtlich im Innern der Glocken über dem Wasser münden, wo sie mit Saug- und Druckventilen versehen sind. Auch können an den oberen Seiten der Lufttrommeln Ventilklappen angebracht werden. Unter Umständen ist es zweckmässig, die Glocken noch mit festen Luft-

kammern, Saug- und Druckkammern zu umgeben, in welchem Falle die bewegten Glocken die Function von Kolben in Cylinderventilatoren haben.

Mit den Kolbenventilatoren theilen die Lufttrommel-Ventilatoren den Mangel, dass in Folge des fortwährenden Bewegungswechsels der Hauptttheile lebendige Kraft verloren geht. Dieses ist natürlich um so weniger von Belang, je geringer die Geschwindigkeit der Bewegung ist. Gänzlich ist dieser Nachtheil bei den folgenden Ventilatoren mit Rotationsbewegung beseitigt, wogegen jedoch wieder andere Unvollkommenheiten auftreten; man kann desshalb keineswegs behaupten, dass alle Rotations-Ventilatoren denen mit wiederkehrender Bewegung vorzuziehen seien.

5. Vielfache Anwendung haben die Centrifugal-Ventilatoren gefunden. Ein solcher Ventilator besteht aus einer in der Regel horizontalen Welle mit daran befestigten Flügeln oder Schaufeln und aus einem cylindrischen Gehäuse, welches zu dem von den Schaufelenden beschriebenen Kreise etwas excentrisch gestellt ist. An beiden verticalen Seitenflächen des Gehäuses sind ziemlich grosse Oeffnungen, durch welche bei rascher Drehung des Schaufelrades die Aussenluft in das Gehäuse fliesst, weil um die Welle herum ein luftverdünnter Raum entsteht, während die daselbst angesaugte Luft in Folge der Centrifugalkraft nach dem Umfange getrieben wird und dort etwas comprimirt durch eine Oeffnung in der cylindrischen Mantelfläche abfliesst, beziehungsweise durch einen Kanal dem zu ventilirenden Raume zugeführt wird.

Die Schaufeln, gewöhnlich vier oder sechs, sind entweder eben und zwar radial gegen die Welle gerichtet, oder besser etwas gegen den Radius geneigt, oder noch besser, sie sind ein wenig gekrümmt. Da die Drehung des Schaufelrades in der Richtung geschieht, dass die convexen Schaufelseiten sich gegen die Luft bewegen, so werden dabei die Lufttheilchen an den Schaufeln weniger im Kreise herumgerissen als bei ebenen radialen Schaufeln, sie werden einigermassen mit gleitender Bewegung nach dem Umfange gedrängt.

Die Centrifugalventilatoren werden zuweilen auch Flügelventilatoren genannt; doch ist diese Bezeichnung weniger passend, weil noch viele andere Ventilatoren mit Flügeln versehen sind und sich demnach Flügelventilatoren nennen lassen, ohne jedoch Centrifugalventilatoren zu sein.

6. Letztere Bemerkung gilt schon von dem Combes'schen Flügelventilator, welcher einem Centrifugalventilator mit stark gekrümmten Schaufeln ähnlich und ohne Zweifel aus einem solchen hervorgegangen ist. Sechs bis zwölf stark gekrümmte Schaufeln oder Flügel, welche nahe am Radumfange fast tangential zu diesem endigen, bilden ebenso viele gekrümmte Röhren oder Luftkanäle, durch welche die um die Radwelle einfliessende Luft mit sehr geringer Geschwindigkeit gegen den Radumfang und über denselben hinaus geschoben wird. Die absolute Geschwindigkeit der bewegten Luft ist hiebei sehr gering, und daraus erklärt sich — in Uebereinstimmung mit früheren Mittheilungen über lebendige Kraft und mechanische Arbeit — der verhältnissmässig grosse Nutzeffect des Combes'schen Ventilators.

Er ist als Sauger angewendet und zwar in der Weise, dass der ganze Ventilator mit horizontaler Axe ausserhalb des zu ventilirenden Raumes steht, unmittelbar an einer Wandöffnung dieses Raumes. Die Wandöffnung entspricht der Radöffnung; es ist nämlich der grösste Theil der einen Radseite offen, während die andere Radseite durch eine volle Kreiswand geschlossen ist und an dieser die Flügel oder offenen Luftkanäle festsitzen.

7. Das ruhige Fortschieben der Luft wird in anderer Weise bei dem Fabry'schen Ventilator erreicht, welcher im Allgemeinen aus einem unten und oben offenen Kasten mit zwei ebenen verticalen und zwei cylindrischen Seitenwänden besteht, worin sich zwei sogenannte Zahnradkolben, nämlich Räder mit parallelen horizontalen Drehaxen und mit einigen Flügeln, welche nach epicykloidischen convexen oder concaven Zahncurven begrenzt oder in anderer ähnlicher Form gebildet sind, so gegen einander bewegen, dass die Zähne oder Flügel beständig einerseits an den concaven Gehäuswänden sich dicht anschliessen, andererseits gegenseitig in einander greifen. Dadurch ist der obere Luftraum von dem unteren abgesperrt und die zwischen die Flügel- und Gehäuswände eindringende und daselbst eingeschlossene Luft wird je nach der Drehungsrichtung entweder von unten nach oben oder von oben nach unten verdrängt.

8. Auf gleichem Prinzip wie die seit etwa 1850 bekannten Fabry'schen Ventilatoren beruht die Construction der später zur Ausführung gekommenen Roqt'schen Ventilatoren, und auch die Einrichtung ist im Wesentlichen dieselbe, nur sind die Flügelformen anders. Es sind entweder eiserne Flügel mit cylindrischen Segmenten

oder — und zwar besser und bei grossen Ventilatoren vorzugsweise — Flügel aus Holz in der Form der Ziffer 8, jedoch mit gehöriger Ausrundung in der Mitte. Beide Flügel werden in entgegengesetzter Richtung gedreht; dabei streift jeder mit dem einen convexen Theile die Innenfläche des Gehäuses, während der andere convexe Theil sich je in dem concaven des anderen abwälzt.

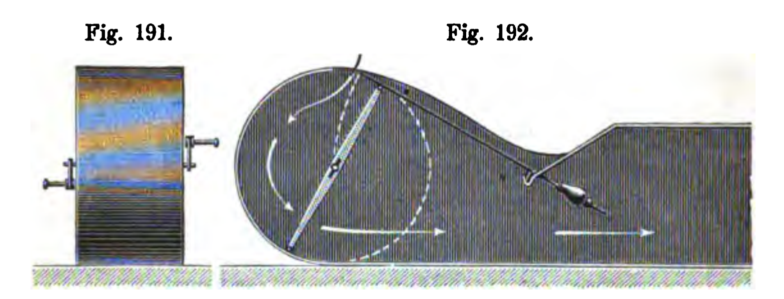
9. Um in Kanälen die Luft ohne bedeutende Compression fortzuschieben, sind schraubenartig wirkende Ventilatoren gut geeignet, wozu auch die mit schrägen Flügeln nach Art der kleinen Windrädchen in den Fenstern construirten, so auch der van Hecke'sche und Haag'sche Ventilator gehören. Jeder von diesen beiden besteht aus zwei unter 50 bis 60° Grad geneigten Flügeln, welche rechtwinkelig an eine Rotationsaxe befestigt sind. Van Hecke hat rechteckige an Stielen sitzende Flügel angewendet, Haag später dafür Kreisausschnitte genommen.

10. Die Wirkungsweise von Luftstrahl-Ventilatoren und Dampfstrahl-Ventilatoren erklärt sich aus den oben über absolute Luftverdünnung gemachten Mittheilungen, namentlich aus den in §. 74 dargestellten Experimenten. Indessen ist die Anwendung solcher Ventilatoren nur in seltenen Fällen zu empfehlen, wenn man nämlich nach Lage besonderer Verhältnisse den Kraftverbrauch nicht so hoch anschlägt als andere zu erreichende Vortheile und Bequemlichkeiten. Dass bei derartigen Vorrichtungen ein grosser Theil lebendiger Kraft verloren geht, lässt sich theoretisch und experimentell nachweisen und ist im Allgemeinen schon aus den verschiedenen oben durchgeführten Untersuchungen über die Luftbewegungen in verengten Röhren u. s. w. zu entnehmen.

11. Wolpert's Sperrflügel-Ventilator. Es kommt häufig vor, dass für die Ventilation eines Raumes oder Gebäudes die Wirkungen der vorhandenen Temperaturdifferenzen den grössten Theil des Jahres hindurch reichlich genügen, dass aber bei ausnahmsweise ungünstigen Verhältnissen die Nachhülfe durch Maschinen zweckmässig oder nothwendig wird. Bei der seltenen Benützung des Ventilators würde es verhältnissmässig kostspielig und umständlich sein, hierfür einen mechanischen Motor aufzustellen und nach Bedürfniss in Betrieb zu setzen. Da empfiehlt sich Handbetrieb, und für solchen vorzugsweise habe ich den Sperrflügel-Ventilator construirt, einen sehr

einfachen Apparat, welcher in Fig. 191 und 192 in der äussseren Ansicht und im Längenschnitt dargestellt ist. Seine Wirkung ist leicht einzusehen.

Fig. 191. Fig. 192.

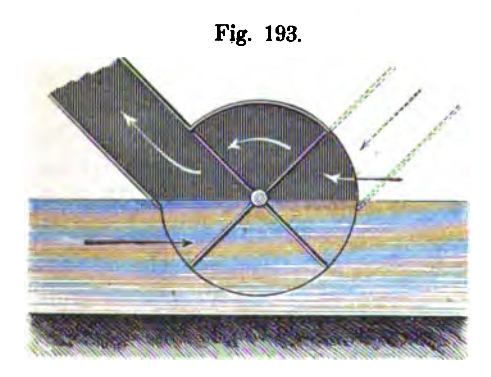


Er besteht aus einem cylindrischen Gehäuse, in welchem sich eine Flügelplatte auf einer Welle drehen lässt, und aus einer mit Gegengewicht versehenen und auf Schneiden ruhenden Klappe, durch welche der Raum zwischen dem Flügel und dem vom Gehäuse abgehenden Pulsionskanale beständig gegen die äussere Luft abgesperrt bleibt.

Es wird folglich bei jeder Umdrehung des Flügels das Luftvolumen in den Pulsionskanal gedrückt, welches der Flügel vor sich herschiebt. Der Flügel soll nicht mehr als eine Umdrehung in der Secunde machen, besser noch weniger. Danach ist seine Grösse in besonderen Fällen zu berechnen. Die Berechnung eines solchen Ventilators folgt in §. 162.

12. Wolpert's Wasserrad-Ventilatoren. Wo Wasserkraft in einem Bache oder Gerinne oder überhaupt einem freien Wasserlaufe zur Verfügung steht, auch bei relativer Bewegung im Wasser bei Schiffsräumen, wird sich zuweilen das aus Fig. 193 und 194 ersichtliche einfache Prinzip mechanischer Ventilation mit Vortheil anwenden lassen.

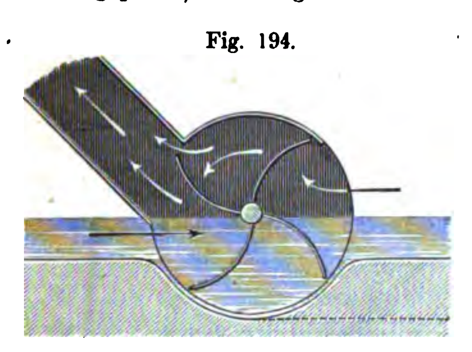
Fig. 193.



Wenn das Flügelrad, dessen Welle sich gerade über dem Spiegel des absolut oder relativ bewegten Wassers befindet, sich mit geringem Spielraum zwischen zwei festen verticalen Wänden bewegt, an welche sich ein Pulsionskanal, oder auch, wie in

Fig. 193 punktirt angedeutet ist, ein Suctionskanal anschliesst, so muss bei der Umdrehung des Flügelrades fortwährend Luft in den Pulsionskanal gepresst, beziehungweise aus dem Suctionskanale gesaugt werden.

Fig. 194.



Die sehr einfache Einrichtung mit ebenen Flügeln wird bei reichlicher Wassertiefe häufig dem Zwecke genügen. Bei geringer Wassertiefe kann man das Bett des Gerinnes unter dem Rade vertiefen und, um die geringere Wassermenge besser wirken zu lassen, gekrümmte Schaufeln anwenden. Gleiche Einrichtung wird sich auch empfehlen, wenn an der zu benützenden Stelle des Wasserlaufs nach der punktirten Andeutung in Fig. 194 ein stärkeres Gefälle vorhanden ist.

§. 162.

Berechnung des Wolpert'schen Sperrflügel-Ventilators.

Als Beispiel der Berechnung eines mechanischen Ventilators soll hier die des in den Figuren 191 und 192 dargestellten Sperrflügel-Ventilators gegeben werden.

Der innere Raum des Gehäuses habe einen Durchmesser $D = 2$ m bei einer Breite $B = 1$ m. Der Rauminhalt eines solchen Cylinders ist

$$\frac{D^2 . \pi}{4} . B = \frac{2^2 . 3{,}14}{4} . 1 = 3{,}14 \text{ cbm}.$$

Hiervon ist in Betreff des Ventilationsquantums der Raum abzuziehen, welchen die Flügelplatte einnimmt, und eine gewisse Luftmenge, welche bei jeder Drehung wegen undichter Fugen nach verschiedener Richtung entweicht; denn leichter Gang bei etwas Spielraum des Flügels und der Klappe ist dichtem Anschlusse mit bedeutender Reibung vorzuziehen. Mit Rücksicht hierauf kann man 2,8 cbm statt 3,14 cbm für eine Umdrehung rechnen.

Der Flügel mache 30 Umdrehungen in der Minute, also eine halbe Umdrehung in der Secunde, wobei das secundliche Luftquantum 1,4 cbm beträgt, welches durch eine Oeffnung von 1 qm am Ventilator in einen

ebenso weiten Kanal getrieben wird; die Luftgeschwindigkeit ist hierbei 1,4 m.

Die Luftsäulen auf beiden Seiten des Ventilators seien gegenseitig im Gleichgewicht und von dem bedeutenden specifischen Gewichte 0,0013 in Bezug auf die Einheit Wasser, so dass 1 cbm der zu fördernden Luft 1,3 kg wiegt. Der Luftkanal habe die Länge $L = 10$ m und quadratischen Querschnitt von der Weite $D = 1$ m.

Die unter solchen Verhältnissen bei dem Sperrflügel-Ventilator aufzuwendende mechanische Arbeit für die Secunde oder der Effect in Secunden-Meter-Kilogramm lässt sich, wie folgt, berechnen:

1. Die mechanische Arbeit, welche zur Fortschiebung der Luft mittels des Flügels erforderlich ist, oder welche der lebendigen Kraft der zu bewegenden Luftmasse entspricht:

$$A_1 = \frac{Mv^2}{2} = \frac{Pv^2}{2g} = \frac{1{,}4 \,.\, 1{,}3 \,.\, 1{,}4^2}{2 \,.\, 9{,}81}$$

$$A_1 = 0{,}182 \text{ Sec.mkg.}$$

2. Der Widerstand der Luftreibung im 10 m langen Kanal, zu überwinden auf den Weg hin, welchen die Luftmasse in einer Secunde macht, d. i. $v = 1{,}4$ m, verlangt die Arbeit:

$$A_2 = \frac{kULv^2}{Q} \,.\, v = 0{,}0003 \,.\, 4 \,.\, 10 \,.\, 1{,}4^2 \,.\, 1{,}4$$

$$A_2 = 0{,}033 \text{ Sec.mkg.}$$

3. Die Arbeit für Ueberwindung der Zapfenreibung bei 90 kg Flügelgewicht incl. Vertical-Pressung und bei 0,02 m Zapfendicke kann nach der Formel berechnet werden:

$$6{,}28\, n f N r$$

darin ist

n die Zahl der Umdrehungen in einer Secunde, hier $^1/_2$,

f der Reibungscoëfficient, hier als 0,07 anzunehmen,

N der Druck auf die Zapfenlager, nämlich das Gewicht des Rades und der Welle nebst Kraft und Widerstand in verticaler Richtung, hier 90 kg,

r der Radius des Zapfens, hier 0,01 m.

Demnach wird

$$A_3 = 6{,}28 \,.\, {}^1/_2 \,.\, 0{,}07 \,.\, 90 \,.\, 0{,}01$$

$$A_3 = 0{,}198 \text{ Sec.mkg.}$$

4. Die Arbeit für Hebung des Klappen-Uebergewichts, welches 1 kg betragen mag, und, im Schwerpunkt der Klappe gedacht, bei

jeder Umdrehung zweimal auf die halbe Höhe des Cylinderhalbmessers 1 m zu heben ist, bei einer halben Umdrehung in der Secunde:

$$A_4 = \tfrac{1}{2} \,.\, 1 \,.\, 2 \,.\, \tfrac{1}{2} \,.\, 1$$
$$A_4 = 0{,}5 \text{ Sec.mkg.}$$

5. Die Arbeit für Ueberwindung der Reibung des Flügels an der Klappe, bei jeder Umdrehung zweimal auf den Weg des Viertelkreises hin; der Reibungscoëfficient sei 0,07; dann ist

$$A_5 = \tfrac{1}{2} \,.\, 1 \,.\, 0{,}07 \,.\, 2 \,.\, \tfrac{1}{4} \,.\, 2 \,.\, 3{,}14$$
$$A_5 = 0{,}110 \text{ Sec.mkg.}$$

Die Reibung beim Niedergang der Klappe ist nicht in Rechnung zu ziehen, weil sie durch das sinkende Uebergewicht überwunden wird, welches überdies noch zur Verminderung der übrigen Arbeit beiträgt. Der Flügel selbst dient als Schwungrad. Zapfenreibung ist für die Klappe nicht vorhanden, weil die Klappe auf Schneiden ruht, wobei die Reibung unbedeutend ist.

Der Gesammtaufwand an mechanischer Arbeit ist also

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 =$$
$$0{,}182 + 0{,}033 + 0{,}198 + 0{,}500 + 0{,}110$$
$$= 1{,}023 \text{ Sec.mkg.}$$

oder ungefähr $\tfrac{1}{6}$ Mannskraft.

Es kann also schon ein Knabe den Ventilator treiben und jedenfalls ein schwacher Mann für die Dauer der gewöhnlichen Arbeitszeit 1,4 cbm Ventilationsluft in der Secunde, also 1,4 . 3600 = 5040 cbm in der Stunde fördern, welche Luftmenge, wenn man für eine Person 40 cbm stündlich rechnet, für 126 Personen genügt.

Demnach wird sich der Sperrflügel-Ventilator, in den angegebenen oder etwas grösseren Dimensionen ausgeführt, für die Ventilirung selten benützter Versammlungssäle unter ungünstigen Umständen gut eignen.

Die Dimensionen können bedeutend grösser genommen werden, und auch die Umdrehungszahl kann grösser sein, wenn man zwei Männer gleichzeitig an den zwei Kurbeln arbeiten lässt.

Man kann natürlich den Sperrflügel-Ventilator, wie irgend einen anderen, auch durch einen mechanischen Motor in Bewegung setzen; allein durch einen solchen und die nöthige Transmission, ja schon durch eine Uebersetzung an den Kurbeln, werden Kraftverluste herbeigeführt. Die Kraft wird am besten ausgenützt, wenn sie mit gleicher Umdrehungszahl, wie die des Flügels ist, unmittelbar an den nicht übersetzten Kurbeln wirkt.

§. 163.

Motoren der mechanischen Ventilation.

Motor ist Beweger; man bezeichnet so die bewegenden Kräfte und auch die in der Praxis zur Anwendung kommenden Mechanismen, durch welche jene motorischen Kräfte wirken.

Menschen und Thierkräfte, Gewichte, Wind, fliessendes Wasser, Dampf, Leuchtgas und heisse Luft sind Motoren für Ventilationszwecke, und zwar meistens in bekannter oder nahe liegender Weise. Es mag jedoch Einiges darüber hier kurze Erwähnung finden.

Menschenkräfte sind als Motoren von Ventilationsmaschinen vortheilhaft bei seltenem und kurzem Betrieb und dann vorzugsweise für die Arbeit an Kurbeln, ebenso in Tret- oder Laufrädern; in solchen sind auch Thiere, namentlich Hunde zu benützen.

Gewichte, welche von Zeit zu Zeit aufgezogen werden, bieten Vortheile, wo reichliche Höhe vorhanden ist, besonders wo Thürme zur zur Verfügung stehen. Die bei geringer Höhe nothwendigen mehrfachen Uebersetzungen absorbiren zu viel Kraft. Luftschächte können oft zugleich als Gewichtschächte benützt werden.

Wo Wasser unter bedeutendem Drucke, wenn auch nur in geringer Menge, in Benützung genommen werden kann, ist es zweckmässig, dieses direct als Motor für Treibung eines turbinen- oder schraubenartig wirkenden Luftrades zu verwenden. Man kann ebenso, wie seit mehreren Jahren bei meinen Luftbefeuchtungsrädchen ein vorhandener Luftstrom benützt wird um Wasser zu zerstäuben, umgekehrt die lebendige Kraft des bewegten Wassers, die auf Windflügel wirkenden Wasserstrahlen benützen, ein Flügelrad zu drehen, um die Luft in einer Röhre fortzubewegen.

Dampfmaschinen sind geeignete Motoren, wo sie anderer Zwecke wegen schon vorhanden sind, oder auch bei grossartigen Ventilationsanlagen, wo es sich lohnt, eigenes Dienstpersonal für diesen Zweck zu halten.

Besondere Empfehlung verdienen die in neuester Zeit in hohem Grade vervollkommneten Gaskraftmaschinen als Ventilator-Motoren. Diese Gasmotoren haben kein sehr grosses Gewicht und nehmen wenig Raum in Anspruch, functioniren ohne Explosionsgefahr und fast oder auch ganz geräuschlos und können in jedem Stockwerk auf irgend einer festen Unterlage aufgestellt werden; sie arbeiten zum Theil ohne Wasserkühlung, bei anderen ist zur Kühlung des Cylinders eine geringe

Menge kalten Wassers erforderlich, welches entweder aus einer Wasserleitung entnommen oder ohne beständige Erneuerung durch selbstthätige Circulation mittels Aufstellung eines Kühlgefässes der Maschine zugeführt werden kann; sie sind leicht zu bedienen, durch Anzünden einer Gasflamme kann ein solcher Motor jeder Zeit sofort in Gang gesetzt, dann Tage und Nächte hindurch ohne Ueberwachung ununterbrochen in Gang erhalten werden.

Die Gasmotoren werden schon mit dem Effecte von 3 Secunden-Meter-Kilogramm oder $^1/_2$ Manneskraft bis zu 8 und mehr Pferdekraft geliefert, so dass sie in geeigneten Grössen für die verschiedenen Ventilationszwecke leicht zu beschaffen sind*).

§. 164.

Absoluter und relativer Nutzeffect der Ventilatoren und Motoren.

Nutzeffect ist im allgemeinen Sinne die Leistung einer Maschine bei normalem Gang zum Unterschied von dem Totaleffect oder der theoretischen Leistungsfähigkeit ohne Rücksicht auf Bewegungshindernisse und Kraftverluste. Es kann z. B. der Totaleffect einer Maschine 60 Secunden-Meter-Kilogramm sein, der Nutzeffect 15. Dieser Werth 15 Secunden-Meter-Kilogramm ist als absoluter Nutzeffect anzusehen gegenüber dem relativen Nutzeffect, welcher hier 25 Procent wäre und auch Wirkungsgrad genannt wird. Eine Maschine ist um so vollkommener, je grösser unter normalen Umständen dieses Verhältniss des absoluten Nutzeffects zum Totaleffect, d. i. der relative Nutzeffect oder Wirkungsgrad ist.

Die nach §. 158 und 159 zu berechnenden Effecte sind als nothwendige absolute Nutzeffecte der in Anwendung zu bringenden Ventilationsmaschinen zu betrachten. Ist von einem Ventilator — eventuell nebst Transmission und Motor — ein relativer Nutzeffect von 25 Procent zu erwarten, so muss der eigentliche Arbeitsaufwand viermal so gross sein, als er sich nach jener Berechnung ergibt.

Welchen absoluten und relativen Nutzeffect die verschiedenen maschinellen Einrichtungen ergeben, kann durch Berechnungen in ähnlicher

*) „Otto's neuer Motor" wird in Grössen von $^1/_2$ bis 8 Pferdekraft in der Gasmotoren-Fabrik Deutz bei Cöln ausgeführt; kleinere Gaskraftmaschinen von $^1/_2$ bis 4 Manneskraft können von C. T. Speyerer & Comp., Maschinengeschäft in Berlin, bezogen werden.

Weise, wie in §. 162 gezeigt, ermittelt werden. In jenem Beispiele ist der absolute Nutzeffect:

$$A_1 + A_2 = 0{,}182 + 0{,}033$$
$$= 0{,}215 \text{ Sec.mkg.};$$

der Totaleffect oder der gesammte Aufwand an mechanischer Arbeit:

$$A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 =$$
$$0{,}182 + 0{,}033 + 0{,}198 + 0{,}500 + 0{,}110$$
$$= 1{,}023 \text{ Sec.mkg.}$$

Mithin ist hier der relative Nutzeffect:

$$\frac{A_1 + A_2}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5} = \frac{0{,}215}{1{,}023} = 21 \text{ Procent.}$$

Dieser relative Nutzeffect scheint sehr gering, obgleich, wie oben gezeigt, mit geringem Kraftaufwande bei einem Sperrflügel-Ventilator eine bedeutende Ventilationswirkung erzielt werden kann. Aber die den relativen Nutzeffect bezeichnende Verhältnisszahl ist bei einer bestimmten Maschine keineswegs constant, vielmehr nach verschiedenen Umständen und namentlich nach der in Frage kommenden Geschwindigkeit veränderlich, so dass man von einer Maschine nicht ein- für allemal sagen kann, sie gebe 25 Procent Nutzeffect.

So ist, wenn die Constructionsverhältnisse gut und richtig gewählt sind, die Grösse des relativen Nutzeffects bei unterschlächtigen Wasserrädern 30 bis 35 Procent, bei oberschlächtigen für Gefälle unter 5 Meter 50 bis 60 Procent, für grössere Gefälle 60 bis 75 Procent.

Die Veränderlichkeit des relativen Nutzeffects mag an dem Beispiele des Sperrflügel-Ventilators, und zwar der Anschaulichkeit wegen für eine etwas extreme Annahme nachgewiesen werden. Angenommen, dass bei derselben Einrichtung die 10fache Luftmenge gefördert werden solle, wobei die Luftgeschwindigkeit auch die 10fache werden müsste, würde $A_1 + A_2$ mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit v wachsen, weil v auch in dem Werthe für das zu fördernde Luftgewicht P als Factor enthalten ist. Die Summe

$$A_1 + A_2 = 0{,}215$$

ist also mit 10 . 10 . 10 = 1000 zu multipliciren, wodurch sich der absolute Nutzeffect ergibt:

$$0{,}215 \cdot 1000 = 215 \text{ Sec.mkg.}$$

Die Arbeiten $A_3 + A_4 + A_5$ wachsen aber nur im geraden Verhältniss mit der Umdrehungsgeschwindigkeit; es ist also die Summe

$$0{,}198 + 0{,}500 + 0{,}110 = 0{,}808$$

nur mit 10 zu multipliciren, was entziffert

$$0{,}808 \cdot 10 = 8{,}08 \text{ Sec.mkg.}$$

Der Totaleffect wäre dann

$$215 + 8{,}08 = 223{,}08 \text{ Sec.mkg.},$$

und der relative Nutzeffect

$$\frac{215}{223{,}08} = 0{,}96 = 96 \text{ Procent.}$$

Trotz dieses ausserordentlich grossen relativen Nutzeffects würde die Kraft schlecht verwerthet sein; denn für die einfache Luftmenge war in §. 162 der Gesammtaufwand an mechanischer Arbeit

$$1{,}023 \text{ Sec.mkg.},$$

während er jetzt für dieselbe einfache Luftmenge betragen würde:

$$\frac{223{,}08}{10} = 22{,}308 \text{ Sec.mkg.}$$

Die Berechnung der Effecte ist oft sehr complicirt. Erfahrungsresultate sind desshalb in den meisten Fällen sehr erwünscht und werthvoll. Bei Anschaffung von Ventilatoren und Motoren wird man in der Regel von dem betreffenden Maschinenfabrikanten theils auf Rechnung, theils auf Erfahrung gegründete Aufschlüsse über die Totaleffecte und Nutzeffecte erhalten können. Nach obigem hat man aber Grund, gewisse allgemeine Angaben hoher relativer Nutzeffecte mit Vorsicht zu benützen, jedenfalls die speciellen Verhältnisse sorgfältig in Erwägung zu ziehen.

Verluste an lebendiger Kraft, Druckhöhe und Geschwindigkeit bei complicirteren Leitungen.

§. 165.

Allgemeine Bemerkungen.

Die hier zum Schlusse des Abschnitts über Ventilation zu gebenden Formeln und Tabellen sind sowohl für die mechanische Ventilation, als auch für andere Einrichtungen zu Ventilations- und Beheizungszwecken von Wichtigkeit. An verschiedenen Stellen dieses Buches sind zwar bereits die Einflüsse der Contraction, der Erweiterungen und Verengungen, der Winkel und Krümmungen besprochen, jedoch mehr in der Weise und Absicht, um zu zeigen, dass man solche Widerstände vermeiden

soll, als um sie in die Gleichungen zur Berechnung der Geschwindigkeiten einzuführen.

Die nothwendigsten Hauptformeln vorerst nur unter der Annahme wenig complicirter Verhältnisse aufzustellen, schien auch aus dem Grunde rathsam, um nicht von vorne herein durch zu grosse und schwer zu übersehende Gleichungen von dem Studium abzuschrecken.

Da es jedoch nicht immer möglich ist, die genannten Widerstände zu vermeiden, und da man zuweilen Berechnungen für vorhandene Anlagen anstellen muss, an welchen sie vorkommen, so mag hier specieller darauf eingegangen werden.

§. 166.

Reibungsverluste bei Röhren von verschiedenen Querschnitten.

In §. 83 ist für die durch eine Temperaturdifferenz $(T-t)$ bewirkte Geschwindigkeit der wärmeren Luft im kleinsten Querschnitt einer aus mehreren ungleichen Röhren oder Kanälen zusammengesetzten Leitung die Gleichung entwickelt (S. 219 Gleichung VII):

$$V^2 = \frac{2gH(T-t)}{273+t} - \frac{KLUV^2}{F} - \frac{KL_1U_1V_1{}^2}{F_1} - \frac{KL_2U_2V_2{}^2}{F_2} - \cdots$$

und wenn V_1 und V_2 in bekannten Relationen zu V stehen, so dass allgemein gesetzt werden kann:

$$V_1{}^2 = \frac{m}{n} V^2 \text{ und } V_2{}^2 = \frac{o}{p} V^2 \text{*)},$$

so wird:

$$V^2 = \frac{2gH(T-t)}{273+t} - \frac{KLUV^2}{F} - \frac{KL_1U_1mV^2}{nF_1} - \frac{KL_2U_2oV^2}{pF_2} - \cdots$$

Diese Specialgleichung für die Bewegung warmer Luft ist aus der allgemeinen Gleichung (S. 216 Gl. III) hervorgegangen:

$$V^2 = 2g(h_1 - h_2),$$

worin

$$h_1 = \frac{H(T-t)}{273+t}$$

die theoretische Geschwindigkeitshöhe oder Ueberdruckhöhe ist und h_2 die Widerstandshöhe und speciell die Reibungshöhe, welche in der Specialgleichung durch die Summe aller den Coëfficienten K enthaltenden Glieder dargestellt ist, wenn man darin k statt K setzt; denn K

*) Auf Seite 219 ist aus Versehen in diesen beiden Gleichungen V, V_1 und V_2 gesetzt anstatt V^2, $V_1{}^2$ und $V_2{}^2$.



wurde für $2gk$ gesetzt, und in der kürzeren allgemeinen Gleichung steht $2g$ bereits vor den Klammern. Es gelten aber die mit der obigen identischen Gleichungen:

$$V^2 = 2g(h_1 - h_2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

$$V^2 = 2g\left(h_1 - \left[\frac{kLUV^2}{F} + \frac{kL_1U_1mV^2}{nF_1} + \frac{kL_2U_2oV^2}{pF_2} + \quad . \quad \right]\right) \quad . \quad (2$$

nicht nur für warme Luft, sondern auch für kalte Luft und für irgend eine andere Flüssigkeit, auch für Dampf und Wasser; sie gelten ferner bei den Wirkungen von Temperaturdifferenzen und von mechanischem Druck; es ist nur erforderlich, dass man für h_1 die dem speciellen Falle entsprechende Ueberdruckhöhe einführt.

Kann man annehmen, dass die durch die Kanäle oder Röhren sich bewegende Flüssigkeit in allen Röhren gleiche Dichtigkeit habe, so lassen sich die Verhältnisse $\frac{m}{n}$ und $\frac{o}{p}$ durch die Verhältnisse der Querschnitte ausdrücken; denn es ist alsdann

$$V \cdot F = V_1 \cdot F_1 = V_2 \cdot F_2$$

$$V_1 = \frac{VF}{F_1} \text{ und } V_2 = \frac{VF}{F_2}$$

$$V_1^2 = \frac{F^2}{F_1^2} V^2 \text{ und } V_2^2 = \frac{F^2}{F_2^2} V^2$$

Bei Kanälen oder Röhren mit quadratischem oder kreisförmigem Querschnitt von den Durchmessern D, D_1 und D_2 kann man auch setzen, da sich die Querschnittsflächen wie die Quadrate der Durchmesser verhalten:

$$V_1^2 = \frac{D^4}{D_1^4} V^2 \text{ und } V_2^2 = \frac{D^4}{D_2^4} V^2$$

Demnach kann man zunächst die Gleichung (2) allgemein schreiben, indem gesetzt wird

$$\frac{m}{n} = \frac{F^2}{F_1^2} \text{ und } \frac{o}{p} = \frac{F^2}{F_2^2},$$

$$V^2 = 2g\left(h_1 - \left[\frac{kLUV^2}{F} + \frac{kL_1U_1F^2V^2}{F_1^2 \cdot F_1} + \frac{kL_2U_2F^2V^2}{F_2^2 \cdot F_2} + \quad . \quad \right]\right)$$

$$V^2 = 2g\left(h_1 - kV^2\left[\frac{LU}{F} + \frac{L_1U_1F^2}{F_1^3} + \frac{L_2U_2F^2}{F_2^3} + \quad . \quad \right]\right) \quad . \quad . \quad (3$$

und specieller für Kanäle oder Röhren mit quadratischen oder kreisförmigen Querschnitten, wobei gesetzt werden kann

$$\frac{U}{F} = \frac{4}{D}; \qquad \frac{m}{n} = \frac{D^4}{D_1^4} \text{ und } \frac{o}{p} = \frac{D^4}{D_2^4},$$

$$V^2 = 2g\left(h_1 - \left[\frac{4kLV^2}{D} + \frac{4kL_1D^4V^2}{D_1{}^4 . D_1} + \frac{4kL_2D^4V^2}{D_2{}^4 . D_2} + \ . \right]\right)$$

$$V^2 = 2g\left(h_1 - 4kV^2\left[\frac{L}{D} + \frac{L_1D^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2D^4}{D_2{}^5} + \ . \ \right]\right) . \ . \ . \ (4$$

Auch für Kanäle von elliptischen oder oblongen Querschnitten darf man, wenn die beiden Querschnittsdimensionen wenig verschieden sind, das arithmetische Mittel dieser als Durchmesser D einsetzen. Bei sehr verschiedenen Querschnittsdimensionen und namentlich bei ringförmigem Querschnitt, wie für Ventilations-Schornsteine, welche Rauchröhren einschliessen, müsste man die allgemeinere Gleichung (3) anwenden und weiter entwickeln, beziehungsweise für einen derartigen Theil der Leitung den allgemeinen Quotienten $\frac{U}{F}$ beibehalten.

§. 167.

Berücksichtigung der Contraction.

In den beiden Gleichungen (3) und (4) bezeichnet der negative Theil die Reibungshöhe h_2, nämlich den durch die Reibung verursachten Verlust an Ueberdruckhöhe oder überhaupt an Druckhöhe. Es ist hierbei wie im §. 83 vorausgesetzt, dass Contractionswiderstände, Krümmungen, plötzliche Querschnittsänderungen und überhaupt Unregelmässigkeiten nicht vorhanden sind oder doch nur in einem so geringen Grade, dass sie vernachlässigt werden können. Die Geschwindigkeit V gilt für den kleinsten Querschnitt der Leitung, hier zugleich für die Röhre vom Durchmesser D und der Länge L.

Ist der kleinste Stromquerschnitt nicht durch eine Röhrenwand selbst gebildet, sondern durch vollständige Contraction in der Röhre vom Durchmesser D_1 bewirkt, so gilt die Geschwindigkeit V für den Contractionsquerschnitt mit dem Durchmesser 0,8 D_1 (vgl. §. 82); dann fällt der Quotient $\frac{L}{D}$ in Gleichung (4) weg, und in den übrigen Quotienten erhält D den Werth 0,8 D_1.

Demnach wird, wenn der kleinste Querschnitt durch vollständige Contraction in der Röhre vom Durchmesser D_1 gebildet ist, der Verlust an Druckhöhe oder die Widerstandshöhe:

$$h_2 = 4kV^2\left[\frac{L_1(0{,}8D_1)^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2(0{,}8D_1{}^4)}{D_2{}^5} + \ . \ \right]$$

$$h_2 = 4kV^2\left[\frac{L_1 0{,}8^4}{D_1} + \frac{L_2(0{,}8D_1)^4}{D_2{}^5} + \ . \ \right] . \ . \ . \ (5$$



Für die Berechnung der Luftmenge ist weiter zu berücksichtigen, dass der kleinste Querschnitt, welcher der Geschwindigkeit V zugehört, auf 0,64 desjenigen Röhrenquerschnitts reducirt wird, an welchem die Contraction stattfindet. Der verhältnissmässig geringe Verlust an lebendiger Kraft mag hierbei nicht weiter in Berücksichtigung kommen. Aber es muss bemerkt werden, dass die Rechnung unrichtig wäre, wollte man die Geschwindigkeit V ohne Rücksicht auf den Contractionsquerschnitt berechnen und dann die Luftmenge durch Multiplication jener Geschwindigkeit mit dem Contractionsquerschnitt bestimmen. Denn aus der Berücksichtigung des Contractionsquerschnitts folgt die Einführung kleinerer Geschwindigkeiten bei den für die übrige Leitung geltenden Quotienten, und bei diesen kleineren Geschwindigkeiten ergibt sich auch die Reibung geringer, also die Geschwindigkeit wieder grösser. Bei langen und engen Leitungen kann das Resultat nahezu das gleiche werden, mag man die secundliche Durchflussmenge mit Rücksicht auf Contraction aus dieser grösseren Geschwindigkeit und dem kleineren Contractionsquerschnitt, oder ohne Rücksicht auf Contraction aus dem grösseren Röhrenquerschnitt und der in Folge der eingeführten grösseren Reibungsgeschwindigkeit kleineren Durchflussgeschwindigkeit berechnen. Es folgt daraus, dass man bei sehr langen und sehr engen Leitungen ohne wesentlichen Fehler die Contraction ausser Rechnung lassen kann. Damit soll jedoch nicht gesagt sein, dass besondere Mündungsformen, für die Vermeidung der Contraction angewendet, nutzlos wären; sie bewirken in jedem Falle eine Vermehrung der Durchflussmenge, dienen zur vollständigeren Erhaltung der lebendigen Kraft.

Zum Zwecke des genaueren Nachweises der vorerwähnten Verhältnisse werde die secundliche Durchflussmenge irgend einer Flüssigkeit durch eine Röhre vom Durchmesser D und der Länge L bei vollständiger Contraction verglichen mit der secundlichen Durchflussmenge ohne Rücksicht auf Contraction, also für den Fall, dass die Einmündung eine Form hat, durch welche die Contraction verhütet wird. (Vgl. §. 82 Fig. 74.)

Für die letztere Annahme ist die wirkliche Geschwindigkeit nach §. 83:

$$V = C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L}{D}}\,.$$

Mit Rücksicht auf den Contractionsquerschnitt bei gewöhnlicher Mündung ist dagegen:

$$V_1 = C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L \,.\, 0{,}8^4}{D}}$$

Das secundliche Durchflussvolumen A ist im ersten Falle für den Röhrenquerschnitt Q:

$$A = Q \,.\, V = Q \,.\, C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L}{D}}$$

Im zweiten Falle ist das Durchflussvolumen B für den Contractionsquerschnitt 0,64 Q:

$$B = 0{,}64\; Q \,.\, V_1 = 0{,}64\; Q \,.\, C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L \,.\, 0{,}8^4}{D}}$$

Danach ergibt sich die Proportion:

$$A : B = \left(Q C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L}{D}}\right) : \left(0{,}64\; Q C : \sqrt{1 + \frac{K_1 L \,.\, 0{,}8^4}{D}}\right)$$

$$A : B = \sqrt{D + K_1 L \,.\, 0{,}8^4} \;:\; 0{,}64 \sqrt{D + K_1 L}$$

oder, da $0{,}64 = 0{,}8^2$ ist,

$$A : B = \sqrt{D + 0{,}8^4 K_1 L} : \sqrt{0{,}8^4 D + 0{,}8^4 K_1 L} \quad \ldots (6$$

Setzt man in dieser Gleichung die Länge L sehr klein und den Durchmesser D so gross, dass je der zweite Summand gegen den ersten verschwindet, so wird

$$A : B = \sqrt{D} : \sqrt{0{,}8^4 D}$$
$$A : B = 1 : 0{,}64$$

Setzt man dagegen die Länge L sehr gross und den Durchmesser D so klein, dass je der erste Summand gegen den zweiten verschwindet, so wird

$$A : B = \sqrt{0{,}8^4 K_1 L} : \sqrt{0{,}8^4 K_1 L}$$
$$A : B = 1 : 1$$

Es würde also in diesem extremen Falle der Einfluss der Contraction verschwinden.

Man kann auf diese Weise mittels Gleichung 6 in gegebenen Fällen sich durch Berechnung überzeugen, ob es von Wichtigkeit ist, die Mündungen sorgfältig für Beseitigung der Contraction zu gestalten. Bei weiten und nicht sehr langen Ventilationskanälen wird sich diese Wichtigkeit ergeben, dagegen nicht bei langen, engen Wasser- und Dampfleitungsröhren.

§. 168.

Verluste durch eingeschaltete Behälter und durch Richtungsänderungen, Knie- und Kropfröhren.

Verluste an lebendiger Kraft erfolgen an allen Stellen, wo die bewegte Flüssigkeit eine Aenderung ihrer Geschwindigkeit und Richtung erleidet, und um so mehr, je plötzlicher die Aenderungen auftreten.

Für die bei Ventilations- und Heizungsanlagen vorkommenden Röhrenleitungen sind hauptsächlich die Fälle von Wichtigkeit, dass die Flüssigkeit einen grösseren Behälter durchströmt, welcher in die Röhrenleitung eingeschaltet ist, ferner dass Winkel und Krümmungen in der Leitung vorkommen, also Röhrenstücke, welche man Knieröhren und Kropfröhren nennt.

Ist in die Leitung ein grösserer Behälter eingeschaltet (Fig. 195), so durchströmen die Flüssigkeitstheilchen denselben nicht direct vermöge ihrer Inertie von der Einströmungsöffnung bis zur Ausströmungsöffnung, auch nicht in dem Falle, dass die Oeffnungen einander gegenüber liegen (Fig. 196). Die übliche Vorstellung von einem „directen Weg des Zuges" ist nicht richtig. Die Flüssigkeit im Behälter wird nach verschiedenen Richtungen in Bewegung gesetzt, es erfolgen Druck- und Stosswirkungen gegen die Wandungen, aber die lebendige Kraft der einströmenden Masse geht dabei verloren, sie ist der Flüssigkeit für die weitere Fortleitung von neuem zu ertheilen.

Fig. 195.

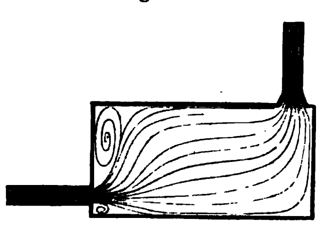
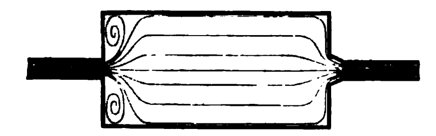
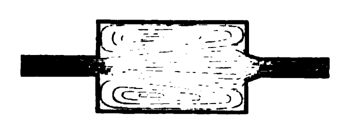


Fig. 196.



Dieses wird in den meisten Anwendungen bei Ventilations- und Heizungsanlagen als richtig anzunehmen sein. Liegen die Oeffnungen in kleinem Abstande einander gegenüber, und gelangt der Strom aus einer Röhre unter grossem Druck, also mit grosser Geschwindigkeit, in die Erweiterung, so erreicht zwar ein Theil der bewegten Masse in Folge der Inertie noch in der ursprünglichen geraden Richtung die Abflussöffnung, doch sind die wesentlichen Erscheinungen auch hier wieder: Ausbreitung des Stromes, Verminderung seiner Geschwindigkeit und Bewegtwerden der ganzen flüssigen Masse in dem erweiterten Theile (Fig. 197).

Fig. 197.



Ist die der bewegten Flüssigkeit in der Leitung entsprechende Geschwindigkeitshöhe

$$h = \frac{V^2}{2g}$$

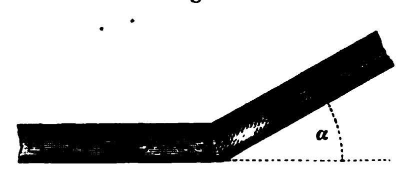
so ist der Druckhöhenverlust im Behälter ebenso gross; wenn also der Verlust an Druckhöhe mit h_3 bezeichnet wird, so ist auch die Widerstandshöhe in Bezug auf dieses Bewegungshinderniss:

$$h_3 = \frac{V^2}{2g} \quad \text{. . . . . (7}$$

Diese Anschauung stimmt mit der Berechnungsweise praktischer Beispiele bei Péclet überein.*)

Beim Durchgang einer Flüssigkeit durch eine Knieröhre (Fig. 198) erleidet die Flüssigkeit einen Verlust an Druckhöhe, welcher nach Péclet's Versuchen für Winkel zwischen 20 und 90 Grad durch die einfache Formel ausgedrückt ist:

Fig. 198.



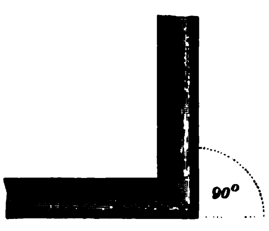
$$h_4 = sin^2\, \alpha \frac{V^2}{2g} \quad \text{. . . (8}$$

wenn α den Ablenkungswinkel bezeichnet; bei Winkeln zwischen 0 und 20 Grad, also bei nur geringer Ablenkung von der ersten Richtung, wäre ebenso wie bei allmählich gekrümmten Röhren zu rechnen.

Nach Weisbach ist genauer

$$h_4 = \zeta_1 \frac{V^2}{2g} = \left(0{,}9457\, sin^2 \frac{\alpha}{2} + 2{,}047\, sin^4 \frac{\alpha}{2}\right) \frac{V^2}{2g} \quad \text{. . (9}$$

Fig. 199.



Für eine Knieröhre, deren Axen einen rechten Winkel bilden (Fig. 199), ist nach der ersten Formel (8), da $sin\, 90^0 = 1$ ist:

$$h_4 = sin^2\, 90^0 \frac{V^2}{2g} = \frac{V^2}{2g};$$

nach der anderen Formel (9):

$$h_4 = (0{,}9457\, sin^2\, 45^0 + 2{,}047\, sin^4\, 45^0) \frac{V^2}{2g}$$

$$= 0{,}984 \frac{V^2}{2g},$$

wobei man anstatt 0,984 auch 1 setzen darf, so dass sich wieder als Druckhöhenverlust ergibt:

$$h_4 = \frac{V^2}{2g}.$$

*) Péclet, Traité de la chaleur 1878, II p. 571 und III p. 200.

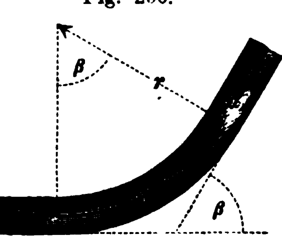
Nach der Weisbach'schen Formel sind die Coëfficienten für einige Ablenkungswinkel berechnet, welche folgende Tabelle zeigt.

Coëfficienten des Kniewiderstandes.

Ablenkungswinkel α =	20°	40°	60°	80°	90°	100°	120°	140°
Coëfficient ζ_1 =	0,046	0,139	0,364	0,740	0,984	1,260	1,861	2,431

Für gekrümmte Röhren, Kropfröhren, vom Ablenkungs- oder Centriwinkel β (Fig. 200) wäre nach Péclet der den Krümmungswiderstand messende Verlust an Druckhöhe ziemlich richtig auszudrücken durch

Fig. 200.



$$h_5 = \frac{\beta}{180} \frac{V^2}{2g},$$

während nach Weisbach genauer gesetzt wird:

$$h_5 = \zeta_2 \frac{\beta}{180} \frac{V^2}{2g} \quad \ldots \quad (10$$

Dabei ist der Coëfficient ζ_2 von dem Verhältniss $\frac{a}{2r}$ der halben Röhrenweite $\frac{a}{2}$ zum Krümmungsradius r der Röhrenaxe abhängig.

Folgende Tabellen enthalten die Widerstandscoëfficienten für verschiedene Werthe von $\frac{a}{2r}$ bei Röhren von kreisförmigem und rechteckigem Querschnitt.

Coëfficienten des Krümmungswiderstandes in Röhren von kreisförmigem Querschnitt.

$\frac{a}{2r}$ =	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_2 =	0,131	0,138	0,158	0,206	0,294	0,440	0,661	0,977	1,408	1,978

Coëfficienten des Krümmungswiderstandes in Kanälen von rechteckigem Querschnitt.

$\frac{a}{2r}$ =	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_2 =	0,12	0,14	0,18	0,25	0,40	0,64	1,02	1,55	2,27	3,23

Hiernach erhält man mittels der **Péclet**'schen Formel für Kropfröhren nur dann ziemlich genaue Resultate, wenn bei Röhren von kreisförmigem Querschnitt der Krümmungsradius ungefähr $^5/_4$ mal so gross ist als der Röhrenradius, und bei Kanälen von rechteckigem Querschnitt der Krümmungsradius ungefähr $^{10}/_7$ mal so gross als die halbe Kanalweite, nach der Richtung des Krümmungsradius genommen.

§. 169.

Zusammenstellung der Widerstandshöhen und Aufstellung der allgemeinen Gleichung der wirklichen Geschwindigkeit.

Die Zusammenstellung der einzelnen Druckhöhen-Verluste oder Widerstandshöhen mit Rücksicht auf die Gleichungen (4), (7), (8) und (10) ergibt den gesammten Druckhöhen-Verlust, welcher mit h_n bezeichnet werden mag, als die Widerstandshöhe:

$$h_n = h_2 + h_3 + h_4 + h_5$$

$$h_n = 4k V^2\left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2 D^4}{D_2{}^5}\right) + \frac{V^2}{2\,g} + sin^2 \alpha \frac{V^2}{2\,g} + \zeta_2 \frac{\beta}{180}\frac{V^2}{2\,g} \quad . \; . \; (11$$

wenn nämlich die Leitung aus drei Röhren von verschiedenen Dimensionen zusammengesetzt ist, worin ein grösseres Gefäss eingeschaltet ist und ein Knie mit dem Ablenkungswinkel α sowie eine Krümmung vom Centriwinkel β vorkommt. Dadurch wird die ursprüngliche Ueberdruckhöhe h_1 vermindert auf

$$h_1 - h_n$$

und die wirkliche Geschwindigkeit V ergibt sich aus der allgemeinen Gleichung

$$V^2 = 2\,g\,(h_1 - h_n)$$

oder

$$V^2 = 2\,g\,h_1 - 2\,g\,h_n \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (12$$

Diese Gleichung ist für die Anwendung weiter zu entwickeln. Der Ausdruck $2\,g\,h_1$ bedeutet das Quadrat der theoretischen Geschwindigkeit, welche in allen Fällen nach früheren Angaben zu finden ist; diese werde mit C bezeichnet. Die theoretische Geschwindigkeit ist

$$C = \sqrt{2\,g h_1}, \text{ also ist } 2\,g h_1 = C^2$$

Dann wird

$$V^2 = C^2 - \left[2\,g\,.\,4\,k V^2\left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2 D^4}{D_2{}^5}\right) + V^2 + sin^2\alpha\, V^2 + \zeta_2 \frac{\beta}{180} V^2\right]$$

$$V^2 \left[1 + 2\,g\,.\,4\,k\left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2 D^4}{D_2{}^5}\right) + 1 + sin^2\alpha + \zeta_2 \frac{\beta}{180}\right] = C^2$$

$$V = C : \sqrt{1 + 2\,g\,.\,4\,k\left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1{}^5} + \frac{L_2 D^4}{D_2{}^5}\right) + 1 + sin^2\alpha + \zeta_2 \frac{\beta}{180}} \quad . \; . \; . \; (13$$

Hierin ist nach §. 84:

$$k = 0{,}000\,305\,8$$
$$2gk = K = 0{,}006$$
$$4\,k = K_1 = 0{,}024$$

Setzt man diesen letzten Coëfficienten K_1 für $2\,g \,.\, 4\,k$ ein und nimmt zugleich n eingeschaltete Gefässe, m Kniestücke vom Ablenkungswinkel α und x Krümmungen vom Centriwinkel β an, so wird

$$V = C : \sqrt{1 + K_1 \left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1^{5}} + \frac{L_2 D^4}{D_2^{5}}\right) + n + m \sin^2 \alpha + x \zeta_2 \frac{\beta}{180}} \quad \ldots \text{(14}$$

Da $K_1 = 4\,K$ gesetzt wurde, also $K = \frac{1}{4}\,K_1$ ist, so muss bei den Gleichungen, in welchen der Quotient $\frac{U}{F}$ vorkommt, wenn man diesen und den Coëfficienten K_1 beibehalten will, gesetzt werden:

$$\frac{K_1\,U}{4\,F} \text{ anstatt } \frac{K\,U}{F}.$$

Die Verminderungen der Geschwindigkeit durch eingeschaltete Gefässe und durch Richtungsänderungen sind neben den immer vorhandenen bedeutenden Reibungswiderständen in langen Leitungen nicht so belangreich, als man beim Anblick der Gleichungen vermuthen könnte. Der zweite Hauptsummand unter dem Wurzelzeichen, die Reibungswiderstände darstellend, kann bei mässig langen Leitungen den Werth 3 haben, so dass, wenn weitere Widerstände nicht vorhanden wären, die wirkliche Geschwindigkeit sein würde:

$$V = C : \sqrt{1 + 3} = C : \sqrt{4} = \tfrac{1}{2}\,C$$

Sind ausserdem noch zwei eingeschaltete Gefässe und drei rechtwinkelige plötzliche Richtungsänderungen vorhanden, so ist

$$V = C : \sqrt{1 + 3 + 2 + 3} = C : \sqrt{9} = \tfrac{1}{3}\,C$$

Es ist also durch diese hinzugekommenen Widerstände die Geschwindigkeit nur von $\frac{1}{2}\,C$ auf $\frac{1}{3}\,C$ vermindert.

§. 170.

Verschiedenheit des Reibungs-Coëfficienten bei Wasser und Luft.

Der Reibungscoëfficient K_1 ist oben in Uebereinstimmung mit den meisten Autoren zu 0,024 angegeben, und zwar für irgend eine Flüssigkeit geltend. Mit Rücksicht auf die Anwendung auf Wasserheizung und auf Wasserleitungen für Abkühlung der Ventilationsluft mag hier beige-

fügt werden, dass nach Weisbach*) der Coëfficient $K_1 = 0{,}024$ nur bei einer Wassergeschwindigkeit von etwa 1 Meter in der Secunde ziemlich genau ist, bei kleineren Geschwindigkeiten grösser, bei grösseren Geschwindigkeiten kleiner wird, nämlich nach folgender Tabelle.

Coëfficienten der Reibung des Wassers in Röhren.

Wasser-geschwindigkeit V	Reibungs-coëfficient K_1	Wasser-geschwindigkeit V	Reibungs-coëfficient K_1
0,1 Meter	0,0446	0,9 Meter	0,0244
0,2 „	0,0356	1 „	0,0239
0,3 „	0,0317	2 „	0,0211
0,4 „	0,0294	3 „	0,0198
0,5 „	0,0278	4 „	0,0191
0,6 „	0,0266	5 „	0,0186
0,7 „	0,0257	6 „	0,0182
0,8 „	0,0250	10 „	0,0174

Welcher Werth für K_1 in die Gleichung der unbekannten wirklichen Geschwindigkeit einzusetzen ist, lässt sich zuweilen aus analogen Fällen oder gegebenen Bedingungen vermuthen. Ausserdem berechnet man zuerst die theoretische Geschwindigkeit C und schätzt vorläufig ab, welche Verminderung durch die Widerstände erfolgen wird. Danach wählt man einen der veränderlichen Coëfficienten, bestimmt mit diesem die Geschwindigkeit genauer und führt eventuell die Rechnung mit dem corrigirten Coëfficienten wiederholt durch. Zuweilen wird schon die erste Berechnung, gewöhnlich aber die zweite die Geschwindigkeit genügend genau ergeben.

Eine ähnliche Veränderlichkeit des Reibungscoëfficienten, wie bei Wasser, wird man auch bei luftförmigen Flüssigkeiten vermuthen dürfen, da ja auch bei den anderen Druckhöhenverlusten oder Widerstandshöhen die oben dargestellten Formeln und Coëfficienten, welche direct durch Versuche mit Wasser gefunden worden sind, allgemein ebenso für Gase als richtig angenommen werden. In der That ist auch für Luftleitungen eine solche Abhängigkeit des Reibungscoëfficienten von der Geschwindigkeit experimentell nachgewiesen. Versuche von Weisbach liessen

*) Weisbach's Ingenieur, 6. Auflage, S. 496.

ferner erkennen, dass der Reibungscoëfficient bei Luft und bei Wasser nicht nur mit wachsender Geschwindigkeit, sondern auch in geringerem Grade mit wachsender Röhrenweite abnimmt. So lange jedoch genauere Versuchsresultate über die Reibungscoëfficienten bei luftförmigen Flüssigkeiten nicht vorliegen, mag für diese $K_1 = 0{,}024$ beibehalten werden, wo sehr glatte Röhrenwandungen vorausgesetzt werden können. Ausserdem ist es rathsam, den Coëfficienten K_1 auf das Doppelte und noch mehr zu vergrössern. Unter gewöhnlichen Umständen wird das Resultat ziemlich gut der Wirklichkeit entsprechen, wenn man bei gemauerten Kanälen, berussten Schornsteinen u. dgl. den runden Werth $K_1 = 0{,}05$ anwendet. (Vgl. §. 84.)

Siebenter Abschnitt.

Heizung.

Allgemeine Erklärungen und Untersuchungen.

§. 171.

Bemerkungen über Heizung im Allgemeinen.

Wird der Begriff Heizung ganz allgemein aufgefasst, so hat man darunter die Entwickelung und Benützung von Wärme zu irgend einem praktischen Zwecke zu verstehen. Solche Zwecke sind Kochen, Sieden, Rösten, Glühen, Schmelzen.

Auf welche Art die Wärme entwickelt wird, mag dabei gleichgültig sein; Heizen ist nicht nothwendiger Weise identisch mit Feuern. Anstatt der allbekannten Wärmeerzeugung durch Feuern hat man schon versucht, die Sommerwärme unmittelbar zu Heizzwecken zu benützen; ferner kann man auch durch mechanische Vorgänge Wärme erzeugen und hat in der That durch Reibung grosser Metallcylinder hohe Wärmegrade für praktische Zwecke hervorgebracht. Gleiches ist erreichbar durch heftiges Hämmern metallischer Körper, sowie durch Compression irgend einer luftförmigen Flüssigkeit. Aber vortheilhaft ist solche Wärmeerzeugung durch mechanische Einwirkungen nicht. Um beispielsweise auf diese Art 6000 Wärmeeinheiten zu gewinnen, die man ausserdem durch Verbrennung von 1 kg Steinkohlen nutzbar erhalten kann, wäre, da das mechanische Aequivalent der Wärmeeinheit 424 mkg ist, die mechanische Arbeit nöthig:

$$6000 \times 424 = 2\,544\,000 \text{ mkg}.$$

Verlangt man zugleich, dass die Wärmemenge 6000 Wärmeeinheiten in einer Stunde geliefert werde, so ist dieses durch Verbrennung von 1 kg Steinkohlen in einem kleinen einfachen Ofen in der angegebenen Zeit recht gut möglich, während sich an nöthiger Pferdekraft innerhalb einer Stunde oder 3600 Secunden ergeben würde:

$$\frac{6000 \times 424}{75 \,.\, 3600} = 9,4 \text{ Pferdekraft.}$$

Daraus ist klar, dass nur in seltenen Fällen, wenn z. B. reichliche und nicht anderweitig auszunützende Wasserkraft zur Verfügung stände, die mechanische Wärmeentwickelung mit Nutzen für praktische Zwecke in Anwendung kommen könnte, für die Industrie im Allgemeinen aber nicht, und noch weniger für die hier zu behandelnde Heizung im engeren Sinne.

Im engeren Sinne versteht man unter Heizung die künstliche Erwärmung unserer Wohnräume mit Anwendung von Brennstoffen. Diese können vegetabilische oder fossile, im natürlichen oder künstlich veränderten Zustande sein, nämlich: Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle, Anthracit; Holzkohle, Torfkohle, Koks von Braunkohlen oder Steinkohlen; ferner aussergewöhnliche Brennstoffe oder Brennstoffsurrogate, Lohkuchen, Briquetten, Stroh, Rohr, Schilf u. dgl.

Die Heizung wird bewirkt durch Freiwerden und Fortpflanzung von Wärme. Sie gründet sich also zunächst auf den chemischen Process der Verbrennung, wobei aus den Brennstoffen durch Einwirkung der atmosphärischen Luft Wärme entwickelt wird. Hierüber unten mehr.

Der weitere Vorgang bei der Heizung beruht auf der nach physikalischen Gesetzen erfolgenden Erscheinung, dass ein erhitzter Körper so lange Wärme auf seine Umgebung überträgt, bis seine eigene Temperatur der seiner Umgebung gleich geworden ist. Diese Wärmeübertragung kann bei unmittelbarer Berührung und noch in bedeutenden Entfernungen stattfinden, durch Leitung und durch Strahlung. Von Seite der gasförmigen Flüssigkeiten geschieht die Wärmeabgabe und Wärmeaufnahme fast nur bei unmittelbarer Berührung mit dem Körper von anderer Temperatur. In allen Fällen aber erfolgt der Uebergang der Wärme um so schneller, je grösser unter sonst gleichen Umständen die Temperaturdifferenz beider Körper, des erhitzten und des zu erwärmenden ist.

Ein erhitzter fester Körper, von Luft und anderen kälteren Körpern umgeben, entsendet nach allen Seiten hin Wärmestrahlen. Die Intensität dieser unmittelbaren Strahlung nimmt im quadratischen

Verhältnisse ab, wie die Entfernung von der Wärmequelle im einfachen Verhältnisse zunimmt, so dass z. B. die unmittelbare Strahlung auf einen Körper in der Entfernung 2 m von einem Ofen nur den vierten Theil von jener Stärke beträgt, mit welcher die Strahlung in der Entfernung 1 m für denselben Körper in gleicher Stellung zur Wirkung gelangt.

In Betreff der Wärmeverbreitung durch die Vermittlung der Luft eines abgeschlossenen Raumes ist Folgendes zu bemerken:

Die den erhitzten Körper berührenden kälteren Lufttheilchen nehmen Wärme aus jenem auf, nehmen im Verhältnisse der Wärmeaufnahme am Volumen zu, folglich am specifischen Gewicht ab; sie werden desshalb von den benachbarten kälteren specifisch schwereren Luftmassen verdrängt, emporgehoben, während beständig neue Theilchen von diesen mit dem erhitzten Körper in Berührung kommen. Vermag dieser Körper eine hinreichende Menge von Wärme zu liefern, so erfolgt eine dauernde Strömung, ein immer grösserer Theil der Luft des Raumes wird auf diese Weise erwärmt. Dieses geschieht um so schneller und vollständiger, je besser dafür gesorgt ist, dass beständig die für Wärmeaufnahme am meisten geeigneten, also die kältesten Luftschichten mit dem erhitzten Körper in Berührung kommen; zweckmässig ist es also, dass dieser selbst sich in den unteren Schichten des Raumes befindet. Wäre z. B. die Decke eines Raumes der erhitzte Körper, so würden fast nur die Luftschichten unmittelbar unter derselben erwärmt, und eine Circulation der Luft könnte (abgesehen von der Wirkung der durch Strahlung erfolgten Erwärmung des Bodens und der Seitenwände) nicht entstehen, weil die wärmsten, specifisch leichtesten Lufttheilchen in den kälteren, specifisch schwereren nicht sinken, die kälteren von den wärmeren zwischen diesen selbst nicht emporgehoben werden können.

Befindet sich nun umgekehrt in der Luft von irgend einer Temperatur ein Körper, dessen Temperatur geringer ist, so geben die den kälteren Körper berührenden Lufttheilchen ihre Wärme theilweise an diesen ab, werden durch den Verlust der Ursache ihrer Ausdehnung specifisch schwerer und sinken folglich in der wärmeren Luftmasse nieder.

Solche Körper von geringerer Temperatur sind bei den zu heizenden Räumen in der Regel die Wände, namentlich die Aussenwände. Wie also die Luft in Folge der Erwärmung an den erhitzten Flächen eines Heizapparates rasch gegen die Decke steigt, so fliesst sie in Folge der Abkühlung an den Wänden rasch herab auf den Boden, während

mehr in der Mitte des Raumes zwischen den wärmenden und abküh-lenden Flächen die Luft in nahezu horizontalen Schichten, gebildet von Lufttheilchen gleicher Temperatur, in verschiedenen Richtungen allmählich von oben nach unten fliesst. Unsere Zimmerheizung bezweckt die Erwärmung der Personen, der Luft und verschiedener Gegenstände, welche sich im Zimmer befinden. Diesen Zweck kann man also entweder dadurch erreichen, dass man die Wärmestrahlen von der Wärmequelle aus auf die Personen und Gegenstände des Zimmers treffen lässt, so dass die Zimmerluft hauptsächlich erst durch Berührung mit diesen Körpern erwärmt wird, oder in umgekehrter Weise, indem man die Luft zum Ueberträger der Wärme von einem erhitzten Körper an die zu erwärmenden Gegenstände macht, die Luft nämlich mittels geeigneter Apparate auf eine Temperatur bringt, welche die äussere Temperatur entsprechend übertrifft; oder endlich man erreicht, wie es bei den meisten Heizanlagen der Fall ist, seinen Zweck dadurch, dass man beide Arten der Wärmeverbreitung zur Wirksamkeit gelangen lässt.

Das Einathmen von kalter Luft halten Manche für vortheilhafter als das Einathmen einer wärmeren, weil die kältere Luft in demselben Volumen eine grössere Gewichtsmenge von Sauerstoff enthält und unser Leben wie unsere Gesundheit durch das Einathmen einer gewissen Menge Sauerstoff aus der atmosphärischen Luft mit jedem Athemzuge bedingt ist. Daraus könnte man folgern und hat man häufig gefolgert, dass die Heizung mittels Wärmestrahlen den Vorzug verdiene. Allein diesem widerspricht die Erfahrung. Kommt bei einer Heizmethode der Einfluss der Wärmestrahlung in überwiegendem oder doch bedeutendem Grade zur Geltung, so wird diese Art der Heizung in Folge der zu ungleichen, einseitigen Erwärmung der bestrahlten Körper sehr unangenehm und sogar der Gesundheit nachtheilig. Ueberdies sind bei sonst guter Luft die geringen Schwankungen des Sauerstoffgehaltes, wie sie durch irgend eine Heizweise veranlasst werden können, ganz unwesentlich, da nach §. 97 der normale Sauerstoffgehalt von 21 Raumprocenten bei gewöhnlicher Temperatur auf 15 Procent und noch weiter sinken kann, ohne auf den Respirationsprocess einen merklichen Einfluss auszuüben. Bevor eine ebenso bedeutende Sauerstoffverminderung in bewohnten Räumen durch Erwärmung oder Respiration eintritt, ist die Luft längst wegen qualitativer Verschlechterung in anderer Weise nicht mehr zum Einathmen geeignet. Die Veränderung der Sauerstoffmenge in einem bestimmten Volumen Luft ist also bei den später zu besprechenden Constructionen der für die verschiedenen

Heizmethoden nöthigen Apparate wohl wichtig für den Verbrennungsprocess, jedoch in Bezug auf die Benützung der erwärmten Luft in unseren Wohnräumen bedeutungslos.

§. 172.

Der Verbrennungsprocess.

Täglich bedienen wir uns des Verbrennungsprocesses, um uns Licht und Wärme zu verschaffen. Dieser Process, der chemische Hergang bei der Verbrennung, ist jedenfalls interessant genug, um allgemein gekannt zu werden, und solche Kenntniss hat man überdies nothwendig, um im Stande zu sein, zweckmässige Feuerungsanlagen zu construiren, ferner um die Verbrennung richtig zu leiten oder auf richtige Leitung derselben hinzuweisen.

Die Verbrennung ist ein chemischer Process. Chemische Processe sind von Wärmeerscheinungen, Zunahme oder Abnahme der Temperatur, begleitet. Bei den Processen chemischer Verbindung zeigt sich meistens Temperaturerhöhung, und zwar zuweilen in sehr hohem Grade, theilweise vereint mit Lichterscheinungen. Das ist vorzugsweise der Fall bei der Verbrennung gewisser Stoffe in Sauerstoffgas und auch in atmosphärischer Luft wegen ihres Sauerstoffgehaltes.

Um diese Thatsache für Zwecke der Heizung im Grossen zu benützen, haben wir Körper in Anwendung zu bringen, die von der Erde in grossen Massen gespendet werden, und die wir zugleich auf einfache Weise in einen Zustand versetzen können, in welchem sie sich mit dem Luftsauerstoff so energisch verbinden, dass dadurch die Feuererscheinung und entsprechende Wärme entsteht.

Nun sind, zum Glücke für die Menschheit, wie der Sauerstoff, so auch gerade die zur Erzielung jener Erscheinungen besonders geeigneten Stoffe, Kohlenstoff und Wasserstoff, in ungeheuren Mengen auf der ganzen Erde verbreitet. Alle Vegetabilien, das Holz, die Oele, ferner Torf, Braunkohlen und Steinkohlen, von welchen Materialien, als Resten untergegangener Pflanzengenerationen, wir mächtige Schichten im Schoosse der Erde besitzen, sind reich an Kohlenstoff und Wasserstoff.

Kommt der Kohlenstoff mit einem glühenden Körper und zugleich mit einer reichlichen Menge Sauerstoffgas in Berührung, so bildet sich eine luftförmige chemische Verbindung, die Kohlensäure; unter gewissen Verhältnissen aber nachträglich Kohlenoxydgas.

Zur Bildung von Kohlensäure ist nämlich doppelt so viel Sauerstoff nöthig, als zur Bildung von Kohlenoxydgas.

Kommen Wasserstoffgas und Sauerstoffgas unter geeigneten Umständen in innige Berührung, so verbinden sie sich chemisch mit grosser Heftigkeit, und das Product ist Wasser, bei hoher Temperatur in der Form des Dampfes.

Diese Verbrennungserscheinungen werden auf folgende Weise durch chemische Formeln dargestellt und quantitativ untersucht (vgl. §. 4):

1) Bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zur Kohlensäure verbindet sich je 1 Mischungsgewicht C mit 2 Mischungsgewichten O,

$$C + 2\,O = CO_2$$

Da das Mischungsgewicht des Kohlenstoffs $= 6$, das des Sauerstoffs $= 8$ ist, so ist das Mischungsgewicht der Kohlensäure

$$6 + 2 \,.\, 8 = 6 + 16 = 22.$$

Es verbinden sich also, wenn man beispielsweise Gewichtsmengen in kg einführt:

6 kg C mit 16 kg O zu 22 kg CO_2
3 „ „ „ 8 „ „ „ 11 „ „
1 „ „ „ $^8/_3$ „ „ „ $^{11}/_3$ „ „
1 „ „ „ $2^2/_3$ „ „ „ $3^2/_3$ „ „

2) Bei der Bildung von Kohlenoxyd verbindet sich je 1 Mischungsgewicht C mit 1 Mischungsgewicht O

$$C + O = CO.$$

Das Mischungsgewicht des Kohlenoxyds ist

$$6 + 8 = 14$$

Es sind demnach verbunden:

6 kg C mit 8 kg O zu 14 kg CO
3 „ „ „ 4 „ „ „ 7 „ „
1 „ „ „ $^4/_3$ „ „ „ $^7/_3$ „ „
1 „ „ „ $1^1/_3$ „ „ „ $2^1/_3$ „ „

3) Bei der Verbrennung des Wasserstoffs zu Wasser, beziehungsweise Wasserdampf, verbindet sich je ein Mischungsgewicht H mit 1 Mischungsgewicht O:

$$H + O = HO.$$

Da das Mischungsgewicht des Wasserstoffs $= 1$ und das des Sauerstoffs $= 8$ ist, so ist das Mischungsgewicht des Wassers oder Wasserdampfs:

$$1 + 8 = 9.$$

Es verbinden sich also:

1 kg H und 8 kg O zu 9 kg HO.

Von dem zur Bildung der chemischen Verbindungen Kohlensäure und Wasser aus dem Brennmaterial, d. i. zum Verbrennungsprocesse nöthigen Sauerstoff umgibt uns ein unerschöpflicher Vorrath. Unsere ganze Atmosphäre besteht aus ungefähr $^1/_5$ Sauerstoffgas und $^4/_5$ Stickstoffgas, oder genauer aus 20,8 Sauerstoff und 79,2 Stickstoff in 100 Raumtheilen, wenn man die verhältnissmässig kleinen Mengen der unwesentlichen Bestandtheile unberücksichtigt lässt. Dem Gewichte nach ausgedrückt enthalten 100 Theile eigentlicher Luft 23 Theile Sauerstoff und 77 Theile Stickstoff, in welchem Verhältniss beide Gase nur als Gemenge, nicht als chemische Verbindung, die reine Luft ausmachen. Der Stickstoff ist ohne erheblichen Einfluss für den Verbrennungsprocess; er dient jedoch als Verdünnungsmittel des Sauerstoffs, dessen allzu energische Wirkungen bei der Verbrennung zu mildern, diese zu verzögern.

Aus Brennstoffen, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten, entwickeln sich in hoher Temperatur brennbare Gase. Kommen diese Gase unter Zutritt der Luft mit einem glühenden oder besser flammenden Körper in Berührung, so entzünden sie sich. So entsteht die Flamme. Die Flamme kann unmittelbar beim Entweichen der brennbaren Gase aus dem Brennstoffe gebildet werden, oder auch, wie es bekanntlich bei der Gasbeleuchtung der Fall ist, nachdem jene Gase in beliebige Entfernungen mittels Röhren weggeführt worden sind.

Die Kohlensäure ist kein brennbares Gas; im Gegentheil, eine Flamme erlischt in Kohlensäure. Kohlenoxydgas dagegen verbrennt, wenn es an der Oberfläche der glühenden Kohlen oder sonst bei entsprechender Temperatur mit Sauerstoff zusammenkommt, mit schwacher Flamme zu Kohlensäure.

Wasserstoff brennt mit kaum sichtbarer Flamme, deren Hitze aber sehr intensiv ist.

Das helle Leuchten einer Flamme entsteht nach Davy dadurch, dass kleine feste Körperchen, Kohlentheilchen, glühend darin schweben. Wird nun die Flamme rasch abgekühlt, oder fehlt es an Sauerstoff, so verwandeln sich die festen Theilchen nicht vollkommen in Gase, sondern bilden den Rauch, während bei einer vollkommenen Verbrennung kein Rauch entsteht. Frankland schreibt das Leuchten der Flamme der Anwesenheit von dichten Kohlenwasserstoffen zu, welche weissglühend werden, bevor sie brennen.

§. 173.

Unterscheidung von Rauch, Dampf, Dunst, Nebel. Vollständige und vollkommne Verbrennung.

Die Begriffe Rauch und Dampf werden im gewöhnlichen Leben so oft verwechselt, dass es gerechtfertigt sein wird, durch einige Worte diese Begriffe festzustellen.

Sitzt man mit mehreren Freunden in einem verhältnissmässig kleinen und nicht ventilirten Gesellschaftslocale, und zwar, wie es im Jahre 1880 unserer Zeitrechnung kaum anders denkbar ist, mit der Cigarre, so wird es nicht fehlen, dass alsbald Einer mit den Worten hereintritt: „Ei, was macht Ihr einen Dampf!“ Er hat gerade nicht ganz Unrecht; denn jedenfalls hat die gemüthliche Rauchgesellschaft auch eine bedeutende Menge Dampf erzeugt. Das aber, was jener Herr sieht und nennen will, ist doch nichts Anderes als Rauch.

Dampf ist nach physikalisch richtiger Bezeichnung eine durch Wärme bis zur Unsichtbarkeit ausgedehnte Flüssigkeit; Dampf, speciell als Wasserdampf, ist luftförmig gewordenes Wasser, Dunst oder Nebel bezeichnet eine Gesammtheit von kleinen Flüssigkeitskügelchen oder Bläschen, welche sichtbar in der Luft schweben. Dampf und Dunst bezeichnen dieselbe Sache bei etwas verschiedener Form; es kommt desswegen auf solche Unterscheidung nicht sonderlich an, wohl aber auf die Unterscheidung zwischen dieser Sache und dem Rauche.

Rauch ist ein sichtbares Gemisch von Luft und den Producten einer unvollkommenen Verbrennung; er enthält mit anderen Worten ausser der gewöhnlichen atmosphärischen Luft noch Stickstoff, Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Wasserdampf und nach Beschaffenheit des Brennmaterials und des Verbrennungsprocesses noch andere verschiedene Dämpfe und sonstige Bestandtheile. Das, was im Rauche noch sichtbar ist, kann ebenfalls unter günstigen Umständen unsichtbar werden. Es sind kleine Kohlentheilchen und kohlenstoffreiche Substanzen, die wir nach ihrer Anhäufung an den Wänden der Rauchzüge und des Schornsteins als Russ sehen. Dass dieser Russ brennbar ist, das beweist das zufällige oder beabsichtigte Ausbrennen mancher Schornsteine. Man überzeugt sich im Kleinen leicht von der Brennbarkeit und dem möglichen Unsichtbarwerden des Russes auf folgende Weise: Hält man einen blanken Glasstab über eine stark russende Flamme, z. B. die einer Oellampe oder einer Talgkerze, so ist alsbald ein Theil des Glasstabes

mit einer Russschicht bedeckt. Hält man nun den Glasstab in eine Flamme von sehr intensiver Hitze, z. B. in eine Weingeistflamme, so verschwindet sehr schnell die Russschicht und der Glasstab ist wieder rein.

In Betreff des specifischen Gewichts vollständig oder theilweise mit Dampf gesättigter Luft und des Rauches ist Folgendes zu bemerken:

Feuchte Luft ist immer specifisch leichter als trockne Luft von gleicher Temperatur und Spannkraft. Rauch dagegen ist specifisch schwerer, als reine Luft von derselben Temperatur unter dem gleichen Atmosphärendrucke; denn der Rauch enthält neben dem specifisch leichteren Stickstoff und den verschiedenen Dämpfen nicht nur die schwereren sichtbaren Kohlentheilchen, sondern auch eine grosse Menge Kohlensäure, deren specifisches Gewicht bedeutend grösser ist als das der atmosphärischen Luft.

So kann man beobachten, dass Cigarrenrauch, den man ruhig aus dem Munde in ein Glas sinken lässt, ruhig im unteren Theile des Glases bleibt, wenn die Luft der Umgebung nicht merklich bewegt ist. Weil aber die Differenz zwischen den specifischen Gewichten des Rauches und der Luft doch nicht gross ist, so wird der Rauch durch bewegte Luft gehoben und weggerissen.

Noch möge hier von der Unterscheidung der Bezeichnungen vollständige und vollkommne Verbrennung gesprochen werden. Diese Bezeichnungen werden oft als gleichbedeutend gebraucht, während einige Schriftsteller die Bedeutungen unterscheiden, jedoch nicht in übereinstimmender Weise. Folgende Unterscheidung dürfte durch den gewöhnlichen Sprachgebrauch begründet sein.

Verbrennt ein Brennmaterial so, dass auf dem Feuerherde nur unbrennbare Substanzen zurückbleiben, ohne dass dabei unverbrannte Theile durch den Zug vom Herde fortgerissen werden, so wird der eigentliche Brennstoff vollständig verzehrt oder nach der gewöhnlichen Vorstellung vollständig verbrannt; die Verbrennung heisst eine vollständige; unvollständig würde sie bei einem Rückstande brennbarer Theile des Brennstoffs auf dem Feuerherde genannt werden. Bleibt aber solcher Rückstand auch nicht, so kann die Verbrennung doch unvollkommen sein, nicht nur, indem Rauch und Russ gebildet wird, sondern auch, indem trotz der Unsichtbarkeit der Verbrennungsluft in derselben Kohlenoxyd und andere brennbare Gase entweichen. Vollkommen ist die Verbrennung, wenn in den Verbrennungsproducten brennbare Substanzen nicht mehr enthalten sind, ausserdem ist sie als unvollkommen zu bezeichnen.

Es kann demnach die Verbrennung vollständig und doch nicht vollkommen sein, ebenso andererseits, soweit das Brennmaterial verzehrt ist, vollkommen, jedoch dabei nicht vollständig. Man muss vollständige und vollkommene Verbrennung zu bewirken suchen, aber ohne allzu grossen Luftüberschuss. Dieses mag im Allgemeinen als Regel gelten; besondere Zwecke rechtfertigen Ausnahmen, wie aus den folgenden Blättern deutlich werden wird.

§. 174.

Speciellere Betrachtung der Verbrennungsvorgänge im Feuerraum.

Nach den obigen allgemeinen Betrachtungen in Betreff des Verbrennungsprocesses mag nun specieller auf die Verbrennungsvorgänge in einem Ofen oder Feuerraume eingegangen werden.

Es werde die Untersuchung vorerst an ein Brennmaterial geknüpft, welches, wie in den meisten Fällen, aus Stücken besteht, die Kohlenstoff und Wasserstoff enthalten. Der Wasserstoff ist theils an Sauerstoff gebunden, theils frei vorhanden.

Bei der Verbrennung entsteht zuerst durch Erhitzung des Materials ein Destillationsvorgang, es bilden sich Gase sowohl an der Oberfläche als im Innern der Stücke; letztere Gase gelangen durch Poren und Spalten oder in Folge von Zerklüftung der Stücke an deren Oberfläche. Die Destillationsgase sind Kohlenwasserstoffgase. Der Wasserstoff, soweit er frei im Brennmaterial vorhanden ist, verbindet sich mit Kohlenstoff entweder zu leichtem Kohlenwasserstoffgas (Sumpfgas, Grubengas) $C_2 H_4$, oder zu schwerem Kohlenwasserstoffgas (ölbildendes Gas) $C_4 H_4$; beide sind leicht brennbar und verbrennen mit dem Luftsauerstoff zu Kohlensäure und Wasser, wie durch die Formeln dargestellt wird:

$$C_2 H_4 + 8\,O = 2\,(CO_2) + 4\,(HO)$$
$$C_4 H_4 + 12\,O = 4\,(CO_2) + 4\,(HO).$$

Der Wasserstoff, welcher an Sauerstoff gebunden, also im Wasser des Brennmaterials enthalten ist, bleibt entweder so gebunden, es entsteht Wasserdampf, welcher entweicht, oder der entstandene Wasserdampf entweicht nicht unmittelbar als solcher, sondern zersetzt sich, in welchem Falle sich der Wasserstoff mit Kohlenstoff zu einem Kohlenwasserstoff und der Sauerstoff mit Kohlenstoff zu Kohlensäure verbindet, die jedoch zum Theil zu Kohlenoxyd, also einem brennbaren Gase, reducirt werden kann, wie solches bei dem folgenden Falle geschieht.

Enthält das Brennmaterial keinen Wasserstoff, so entstehen keine Destillationsgase; denn reine Kohlen (Holzkohlen oder Koks) können nicht destillirt werden. Das Verbrennungsproduct ist dann in Folge der Verbindung von Kohlenstoff und Sauerstoff zunächst Kohlensäure

$$C + 2\,O = CO_2.$$

Die entwickelte Kohlensäure kann aber durch Berührung mit glühendem Kohlenstoff zu Kohlenoxyd reducirt werden, und wenigstens theilweise geschieht dieses in der Regel.

Diese Reduction auf die niedere Oxydationsstufe ist nicht so aufzufassen, als ob die Kohlensäure ein Mischungsgewicht Sauerstoff ausscheide, sondern das eine Mischungsgewicht Kohlensäure nimmt noch ein Mischungsgewicht Kohlenstoff auf, so dass zwei Mischungsgewichte Kohlenoxydgas entstehen,

$$CO_2 + C = 2\,(CO),$$

woraus sich mit zwei weiteren Mischungsgewichten Sauerstoff zwei Mischungsgewichte Kohlensäure bilden können:

$$2\,(CO) + 2\,O = 2\,(CO)_2$$

Die genannten durch Destillation und Reduction entstandenen Gase verbrennen also unter günstigen Umständen vollkommen zu Wasser und Kohlensäure, während sie unter weniger günstigen Umständen zum Theil als brennbare Gase entweichen, die Verbrennung also eine unvollkommene ist.

Allgemeine Bedingungen für die Verbindung des Luftsauerstoffs mit dem Wasserstoff und Kohlenstoff des Brennmaterials sind:

1) das Brennmaterial muss sich in glühendem Zustande befinden;

2) die atmosphärische Luft muss in reichlicher Menge zuströmen;

3) die Temperatur der atmosphärischen Luft muss wenigstens 400° C. sein;

4) es muss eine innige und entsprechend andauernde Berührung zwischen der Luft und dem Brennstoff sowie den Destillations- und Reductionsgasen stattfinden.

Aus der zweiten und vierten dieser Bedingungen könnte man folgern, dass die zugeführten Luftmengen möglichst gross sein sollen; doch werden bei allzu grosser Luftmenge die beiden anderen Bedingungen zu wenig erfüllt. Wie gross die Luftmenge sein soll, wird in §. 179 untersucht.

Weiter ist im Allgemeinen darauf zu achten, dass der Brennstoff trocken ist, weil die Verdampfung Wärmeverluste herbeiführt; — dass die Brennstoffstücke weder zu gross noch zu klein sind, weil in beiden Fällen die Durchdringung und allseitige Mengung mit Luft erschwert

wird; — dass die Dicke der Brennstoffschicht weder zu klein noch zu gross ist, sondern der speciellen Einrichtung des Feuerungsapparates und der davon abhängigen Feuerungsweise entspricht.

§. 175.

Calorimetrischer und pyrometrischer Effect im Allgemeinen.

Bei der Verbrennung wird eine gewisse Wärmemenge entwickelt und damit eine gewisse Temperaturerhöhung hervorgebracht. Doch sind die Zahlenwerthe, welche die Wärmemengen und Temperaturerhöhungen darstellen, keineswegs als proportional vorauszusetzen; sie können in sehr verschiedenen Verhältnissen erscheinen.

Die Wärmeäusserung in Bezug auf Quantität oder den Werth der entwickelten Wärmemenge in Calorien nennt man den calorimetrischen Effect, während der pyrometrische Effect, die Wärmeäusserung in Bezug auf Intensität, durch die Temperaturerhöhung in Pyrometer- oder Thermometergraden angegeben wird, also auch thermometricher Effect genannt werden könnte.

Der calorimetrische Effect bei der Verbrennung eines gewissen Quantums Wasserstoff oder Kohlenstoff ist dann am grössten, wenn sich diese Grundstoffe mit möglichst viel Sauerstoff verbinden. Angenommen, es bildet sich daraus die überhaupt mögliche Menge von Wasser und Kohlensäure, so ist die entwickelte Wärmemenge die gleiche, mag reiner Sauerstoff oder Luft zur Verbrennung gedient haben und dabei der Sauerstoff in gerade hinreichender Menge oder im Ueberschusse vorhanden gewesen sein. Die Wärmemenge jedoch, welche für einen bestimmten Zweck nutzbar gemacht werden kann, ist verschieden nach der Temperatur der Grundstoffe vor und der chemischen Verbindungen nach der Verbrennung; und namentlich macht es einen Unterschied, ob man bei der Verbrennung des Wasserstoffs das Verbrennungsproduct von hoher oder niederer Temperatur, das gebildete Wasser in Dampfform oder in Wasserform in Rechnung bringt.

Unter Voraussetzung gleicher Temperaturen der Grundstoffe und Verbrennungsproducte ist nach den Versuchen von Favre und Silbermann der calorimetrische Effect bei der Verbrennung von

1 kg Wasserstoff H zu Wasser HO . . . . . . 34462 Calorien,
1 „ Kohlenstoff C (Holzkohle) zu Kohlensäure CO_2 . 8080 „
1 „ Kohlenstoff C (Holzkohle) zu Kohlenoxyd CO . 2473 „
1 „ Kohlenoxyd CO zu Kohlensäure CO_2 . . . . 2403 „

1 kg Sumpfgas $C_2 H_4$ zu Kohlensäure und Wasser . 13063 Calorien,
1 „ ölbildendes Gas $C_4 H_4$ zu Kohlesäure und Wasser 11858 „ .

Der zu 2473 Calorien angegebene calorimetrische Effect des Kohlenstoffs bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd kann durch Versuche nicht unmittelbar gefunden werden, weil diese Verbrennung nicht direct sondern nur secundär und theilweise erfolgt. Allein aus den durch Versuche unmittelbar gefundenen Werthen für die Verbrennung der Kohle zu Kohlensäure (8080) und des Kohlenoxyds zu Kohlensäure (2403) lässt sich jener Werth berechnen, was hier, weil diese Zahlen in einigen Schriften abweichend angegeben sind, geschehen mag:

Nach §. 172 verbindet sich bei der Bildung von Kohlenoxyd

$$1 \text{ kg } C \text{ mit } 1^1/_3 \text{ kg } O \text{ zu } 2^1/_3 \text{ kg } CO$$

und bei der Bildung von Kohlensäure:

$$1 \text{ kg } C \text{ mit } 2^2/_3 \text{ kg } O \text{ zu } 3^2/_3 \text{ kg } CO_2.$$

Während aus $2^1/_3$ kg Kohlenoxyd durch weitere Sauerstoffaufnahme $3^2/_3$ kg Kohlensäure werden, müssen sich entwickeln, wenn x den calorimetrischen Effect für 1 kg Kohlenstoff bei der Bildung von Kohlenoxyd bezeichnet:

$$(8080 - x) \text{ Calorien,}$$

und diese Wärmemenge ist, da der calorimetrische Effect bei Verbindung von 1 kg Kohlenoxyd zu Kohlensäure durch Versuche zu 2403 Calorien gefunden wurde, auch dargestellt durch den Werth:

$$2^1/_3 \,.\, 2403 = 5607 \text{ Calorien.}$$

Es ist also die Gleichung gegeben:

$$8080 - x = 5607$$

Daraus ist

$$x = 8080 - 5607 = 2473 \text{ Calorien.}$$

Will man den calorimetrischen Effect eines Kohlenwasserstoffgases durch Rechnung aus den für Kohlenstoff und Wasserstoff gegebenen Werthen finden, so ist die Verschiedenheit der Aggregatszustände zu berücksichtigen.

Die Wärmemengen 8080 und 2473 Calorien gelten für die Verbrennung des festen Kohlenstoffs zu Kohlensäure und beziehungsweise Kohlenoxydgas, und sind um den Betrag der zur Vergasung desselben nöthigen Wärme kleiner als diejenigen Wärmemengen, welche durch die chemische Verbindung an und für sich entwickelt werden. Bezeichnet man diese Verbindungswärme für die Kohlenoxydgasbildung mit z, so ist nach Grashof jene für die Kohlensäurebildung mit $2z$ zu bezeichnen, weil 1 Mischungsgewicht Kohlenstoff sich im ersten Falle mit einem Mischungsgewicht Sauerstoff, im anderen Falle mit zwei Mischungsgewichten Sauerstoff verbindet.

Wird ferner der zur Vergasung des festen Kohlenstoffs nöthige Wärmebetrag mit y bezeichnet, so bestehen für die Verbindungs-Wärme z und $2\,z$ die Gleichungen:

In Bezug auf die Kohlenoxydbildung

$$z = y + 2473 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (1$$

In Bezug auf die Kohlensäurebildung

$$2\,z = y + 8080 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (2$$

Durch Subtraction der ersten Gleichung von der zweiten:

$$z = 8080 - 2473 = 5607 \text{ Calorien}$$

als Verbindungswärme für Kohlenoxydgas, somit auch

$$2\,z = 11\,214 \text{ Calorien}$$

als Verbindungswärme für die Kohlensäure, und ferner aus Gleichung 1:

$$y = z - 2473$$
$$y = 5607 - 2473$$
$$y = 3134 \text{ Calorien}$$

als Vergasungs- oder Verflüchtigungswärme des festen Kohlenstoffs.

Es gilt demnach für den Heizeffect des gasförmigen Kohlenstoffs anstatt 8080 der Werth 11 214 Calorien.

In Betreff des calorimetrischen Effects des Wasserstoffs und der Wasserstoffverbindungen muss beachtet werden, dass bei den Versuchen von Favre und Silbermann die durch eine Schlangenröhre des Calorimeters geleiteten Verbrennungsgase stark abgekühlt wurden und folglich die sogenannte latente oder Verdampfungswärme des gebildeten Wassers von den angegebenen 34 462 Calorien in Abzug zu bringen ist, wenn der calorimetrische Effect auf die luftförmigen Verbrennungsproducte bezogen wird.

Nach §. 48 ist die Verdampfungswärme r bei der Temperatur t^0 C.:

$$r = 606{,}5 - 0{,}695\,t$$

wofür sich bei ungefähr 10° C. der runde Werth ergibt:

$$r = 600 \text{ Calorien}$$

d. h. für jedes Kilogramm des gebildeten Wassers sind 600 Calorien in Abzug zu bringen, wenn der Wasserdampf nicht condensirt wird. Da nun 1 kg Wasserstoff sich bei der Verbrennung mit 8 kg Sauerstoff zu 9 kg Wasser verbindet, so entspricht einem kg Wasserstoff die Verdampfungswärme

$$9 \times 600 = 5400$$

und der für das luftförmige Verbrennungsproduct Wasserdampf geltende calorimetrische Effect des Wasserstoffs ist:

$$34\,462 - 5400 = 29\,062 \text{ Calorien.}$$

Ebenso wird der corrigirte calorimetrische Effect für 1 kg Sumpfgas, worin $^1/_4$ kg Wasserstoff enthalten ist:

$$13063 - {}^1/_4 \cdot 5400 = 11713 \text{ Calorien},$$

und 1 kg ölbildendes Gas, welches $^1/_7$ kg Wasserstoff enthält:

$$11858 - {}^1/_7 \cdot 5400 = 11087 \text{ Calorien}.$$

Der pyrometrische Effect, als die erzeugte Temperaturerhöhung der Verbrennungsgase aufgefasst, ist um so grösser, je kleiner die Masse dieser Gase ist, auf welche sich die entwickelte Wärme vertheilt, ist also sehr verschieden danach, ob reiner Sauerstoff oder Luft, und ob diese in gerade nothwendiger Menge oder im Ueberschusse bei der Verbrennung vorhanden ist.

Auf die Verbrennung in reinem Sauerstoff mag hier — als für die hier zu behandelnden Gegenstände ohne Wichtigkeit — nicht weiter eingegangen werden. Aber von Wichtigkeit ist die Vergleichung der pyrometrischen Effecte bei der Verbrennung des Kohlenstoffs mit atmosphärischer Luft zu Kohlenoxyd und Kohlensäure.

Die Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlenoxyd betreffend, dargestellt durch die Formel:

$$C + O = CO,$$

wobei es gleichgültig ist, ob man die Entstehung des Kohlenoxyds durch Reduction berücksichtigt oder die unmittelbare Verbindung von einem Mischungsgewicht Kohlenstoff und einem Mischungsgewicht Sauerstoff erfolgt denkt, verbinden sich 3 kg Kohlenstoff mit 4 kg Sauerstoff zu 7 kg Kohlenoxyd. Da aber die zur Verbindung dienende Luft auf je 1 kg Sauerstoff ungefähr noch $3^1/_2$ kg andere Gase, namentlich Stickstoff enthält, so kommen zu dem Gasquantum von 7 kg noch $4 \times 3{,}5 = 14$ kg Stickstoff u. dgl. Auf $7 + 14 = 21$ kg Gasgemenge vertheilen sich bei der Verbrennung von 3 kg Kohlenstoff zu Kohlenoxyd $3 \times 2473 = 7419$ Calorien, wonach auf 1 kg des Gasgemenges treffen:

$$7419 : 21 = 353 \text{ Calorien}.$$

So oft die specifische Wärme des Gasgemenges in der Zahl 353 enthalten ist, um so viele Grade wird das Gasgemenge erwärmt. Diese specifische Wärme ist zwar nicht genau bekannt, doch ist sie nach §. 46, da sie für Kohlenoxyd 0,2479 und für Stickstoff 0,244 ist, annähernd 0,246.

Die gesuchte Temperatur ist also, wenn die Bestandtheile vor der Verbrennung die Temperatur 0° hatten, im andern Falle die Temperaturerhöhung, im Allgemeinen der pyrometrische Effect:

$$353 : 0{,}246 = 1435^0 \text{ Cels.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1$$

Bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure, dargestellt durch die Formel

$$C + 2\,O = CO_2,$$

verbinden sich 3 kg Kohlenstoff mit 8 kg Sauerstoff zu 11 kg Kohlensäure. Da der Stickstoff nebst den anderen unwesentlichen Bestandtheilen der Luft mit ungefähr $3\frac{1}{2} \times 8 = 28$ kg hinzukommt, so wiegt das Gasgemenge

$$11 + 28 = 39 \text{ kg}$$

und es vertheilen sich darauf

$$3 \times 8080 = 24\,240 \text{ Calorien,}$$

so dass auf 1 kg kommen:

$$24\,240 : 39 = 621 \text{ Calorien.}$$

Da nach §. 46 die specifische Wärme der Kohlensäure 0,2164 ist, so kann die des Gasgemenges zu 0,23 angenommen werden, und die Temperaturerhöhung desselben oder der pyrometrische Effect wäre nach den gemachten Voraussetzungen:

$$621 : 0{,}23 = 2700^0 \text{ Cels.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

In der Wirklichkeit wird ein so hoher pyrometrischer Effect nicht erzielt; denn — abgesehen von anderen später zur Sprache kommenden Vorgängen — wird erfahrungsgemäss mit dem Luftquantum, welches nach der Menge des zu bindenden Sauerstoffs berechnet wird, eine auch nur annähernd vollkommene Verbrennung zu Kohlensäure nicht erreicht. Es entsteht dadurch, dass die zuerst gebildete Kohlensäure noch mehr Kohlenstoff aufnimmt, eine bedeutende Menge Kohlenoxyd, die Verbrennung ist folglich unvollkommen, und insofern ist diese Luftzuführung als eine mangelhafte zu bezeichnen. Eine beträchtlich grössere Luftmenge muss durch den Verbrennungsherd strömen, wenn nahezu der gesammte Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrennen soll. Rechnet man, wie es der Praxis entspricht, das doppelte Luftquantum, so ist das Mehrgewicht des Gasgemenges an Sauerstoff 8 kg und an Stickstoff 28 kg; das Gesammtgewicht ist alsdann

$$39 + 36 = 75 \text{ kg}$$

und es vertheilen sich darauf die entwickelten 24 240 Calorien. Danach kommen auf 1 kg des Gasgemenges

$$24\,240 : 75 = 323 \text{ Calorien,}$$

und der pyrometrische Effect wird, wenn man die specifische Wärme des Gasgemenges zu 0,23 annimmt:

$$323 : 0{,}23 \quad 1404^0 \text{ Cels.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

Die Vergleichung der gefundenen drei Temperaturwerthe führt — mit weiterer Berücksichtigung des Umstandes, dass bei unvoll-

kommener Verbrennung neben dem Kohlenoxyd sich auch Kohlensäure bildet und ebenso bei möglichst vollkommener Verbrennung immer auch etwas Kohlenoxydgas auftritt — zu der wichtigen Schlussfolgerung:

Die beiden Werthe 1435° und 1404° sind nahezu gleich; aber in der Wirklichkeit wird der erste durch Kohlensäurebildung noch höher, der letzte durch Kohlenoxydbildung noch geringer, folglich erreicht man die höchste Temperatur bei mangelhafter Luftzuführung, also bei unvollkommener Verbrennung.

Praktische Nutzanwendungen dieses Ergebnisses verlangen vorsichtige Rücksichtnahme auf Zweck und Verhältnisse eines jeden Sonderfalles, weil es häufig mehr auf die Wärmemenge als auf die Temperatur ankommt. Bei der unvollkommenen Verbrennung ohne Luftüberschuss erhält man höhere Temperatur aber geringere Wärmemenge, bei fast vollkommener Verbrennung mit reichlichem Luftüberschuss weniger hohe Temperatur aber grössere Wärmemenge.

Beizufügen ist hier, dass die Wärmemengen, welche oben für die Temperaturerhöhung der Gasgemenge in Rechnung gebracht wurden, unter Umständen bedeutend dadurch vermindert werden, dass sowohl durch Wärmeleitung als auch durch Strahlung unmittelbar von dem glühenden Brennmaterial aus auf die Wandungen des Feuerraumes eine grosse Menge von Wärme übergeht, die nach aussen fortgepflanzt wird, also wohl den Heizzwecken dienen kann, aber für die Temperaturerhöhung des aus dem Verbrennungsraume abziehenden Gasgemenges verloren geht.

Immerhin behalten die obigen Untersuchungen und Berechnungen einen relativen Werth. Absolut richtige, mit den praktischen Erfahrungen genau übereinstimmende Berechnungen der calorimetrischen und pyrometrischen Effecte sind — auch abgesehen von der Wärmeableitung und Strahlung — bei den Heizapparaten schon desswegen nicht zu erwarten, weil die Vorgänge der Reduction und Dissociation zu wenig erforscht sind, als dass deren Einflüsse mit genügender Sicherheit in den Rechnungen berücksichtigt werden könnten. Diese Vorgänge soll der nächste Paragraph ausführlicher behandeln.

§. 176.

Reduction und Dissociation der Verbrennungsproducte.

Die Reduction bezieht sich, wie bereits in §. 174 erklärt ist, auf die Umwandlung der Kohlensäure zu Kohlenoxyd. Da diese Umwand-

lung darin besteht, dass die zuerst gebildete Kohlensäure, gleichwie freier Sauerstoff, sich mit Kohlenstoff verbindet, die ursprünglich entstandene Verbindung Kohlensäure also nicht sauerstoffärmer, aber kohlenstoffreicher wird, so ist die Benennung des Vorganges als Reduction, was gleichbedeutend mit Desoxydation oder Entziehung von Sauerstoff ist, nicht ganz bezeichnend. Die Bezeichnungen Carbonisation und Uebercarbonisation des Sauerstoffs anstatt Kohlensäurebildung und Kohlenoxydbildung würden hier anschaulicher sein. Es mag jedoch im Folgenden die Bezeichnung Reduction beibehalten bleiben, die sich immerhin rechtfertigen lässt, weil von dem zuerst in der Kohlensäure enthaltenen Kohlenstoff der Sauerstoff zur Hälfte sich trennen muss, um an eben so viel anderen Kohlenstoff überzugehen.

Die richtige Auffassung dieses Vorgangs und seiner Ursachen ist von besonderer Wichtigkeit, weil daraus praktische Folgerungen für die Einrichtung und Behandlung von Feuerungsanlagen zu ziehen sind.

Meidinger*) schreibt über die Reduction unter Anderem Folgendes:

„Die Verbrennung über dem Rost ist kein so einfacher Vorgang, wie man sich gewöhnlich vorstellt; sie besteht aus einer Reihe von neben und hinter einander erfolgenden Verbindungen und Reductionen, die sich zum Theil über den Brennstoff hinaus in die Züge fortsetzen, ehe der Abschluss erfolgt. Es sei vorerst angenommen, auf dem Rost befände sich nur reine glühende Kohle (Koks). Sobald die aus den Rostfugen tretende Luft die glühende Kohle zuerst trifft, verbindet sich der darin enthaltene Sauerstoff mit dem Kohlenstoff zu Kohlensäure; es bewegt sich jetzt weiter aufwärts eine Luft, in welcher ein kleiner Theil Sauerstoff durch Kohlensäure ersetzt ist. Sobald dieses Gemenge glühende Kohle trifft, verbindet sich ein neuer Theil Sauerstoff mit Kohle zu Kohlensäure; die bereits vorhandene Kohlensäure aber nimmt ebenfalls Kohle auf und wird dadurch zu Kohlenoxyd reducirt. Die Luft ist ärmer an Sauerstoff geworden, sie enthält dafür entsprechende Beträge an Kohlensäure und Kohlenoxyd. Sobald bei der Weiterbewegung aufwärts Kohlenoxyd und Sauerstoff durch Diffusion zusammenkommen, verbinden sie sich und erzeugen Kohlensäure; die bereits von früher noch vorhandene Kohlensäure wird, sobald sie glühende Kohle trifft, durch Aufnahme derselben zu Kohlenoxyd reducirt, der freie Sauerstoff verbindet sich mit neuer Kohle zu Kohlensäure. Solcher-

*) Feuerungsstudien von Prof. Dr. H. Meidinger, Karlsruhe 1878. G. Braun'sche Hofbuchhandlung.

massen wird beim Durchströmen glühender Kohle die Luft immer ärmer an Sauerstoff, immer reicher an Kohlensäure und Kohlenoxyd. Die Reducirbarkeit der Kohlensäure durch glühende Kohle befördert die Raschheit der Verbrennung, wirkt darauf hin, dass ein Stück Brennstoff schneller verzehrt wird, als wenn er sich lediglich mit Sauerstoff verbände. CO_2 verbindet sich mit C, ebenso O_2 mit C, die Summe des Sauerstoffs in der Kohlensäure und des freien Sauerstoffs wirkt somit wie ebensoviel freier Sauerstoff allein. Würde die glühende Kohle nicht die Eigenschaft haben, die Kohlensäure zu reduciren, so müsste eine höhere Schicht Brennstoffs für vollständige Verbrennung und zur Ueberwindung des dadurch entstehenden grösseren Widerstandes ein höheres Kamin angewendet werden. Ist die Schicht Kohle hinreichend hoch, so kann die Luft ihren freien Sauerstoff noch innerhalb derselben vollständig verlieren. Das Verhältniss der dann in der Luft enthaltenen Mengen von Kohlensäure und Kohlenoxyd hängt ganz von der Beschaffenheit der Feuerung ab, ob dieselbe die innerhalb des Brennstoffs producirte Wärme rasch nach aussen abgeben kann oder nicht, ob, mit anderen Worten, das Feuer, resp. die Kohlen sich in schwacher oder starker Gluth befinden. In letzterem Falle wird das Kohlenoxyd überwiegen, in ersterem Falle die Kohlensäure. Ist die stark glühende Brennstoffschicht sehr hoch, so wird alle Kohlensäure reducirt, die Luft besteht dann blos aus einem Gemenge von Stickstoff und Kohlenoxyd. Befindet sich der Brennstoff in ganz schwacher Gluth, so ist auch bei noch so hoher Schicht die Menge gebildeten Kohlenoxyds sehr klein, fast verschwindend, je nach Umständen Beträge von einem oder wenigen Procenten nicht überschreitend; die Luft enthält dann ausser Stickstoff fast nur Kohlensäure. Eine derartige vollständige Verbrennung findet in eisernen Füllöfen statt und daraus erklärt sich der überraschend grosse, Jedermann sofort auffallende Nutzeffect derselben bei verhältnissmässig geringen Dimensionen."

Auf diese Thatsache hat Meidinger bereits im Jahre 1871 bei Beschreibung seines bekannten Füllofens hingewiesen*).

Die Ursache, warum eine Reduction der Kohlensäure zu Kohlenoxyd nur bei stark glühenden Kohlen stattfindet, ist nach Meidinger darin zu suchen, dass in die Verbindung der Kohlensäure nochmals die bereits darin enthaltene Menge Kohlenstoff eintritt und der Betrag der dabei zur Entwickelung kommenden Wärmeeinheiten (nach §. 175, wenn man von 1 kg Kohle ausgeht, 2 . 2473 = 4946 Calorien) viel geringer

*) Badische Gewerbe-Zeitung IV Bd. Nr. 1 u. 2.

ist als die bei der ursprünglichen Verbrennung von 1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure entwickelten Wärmemenge (8080 Calorien). Die Differenz dieser Wärmemengen,

8080 — 4946 = 3134 Calorien,

muss behufs Reduction von Kohlensäure zu Kohlenoxyd aufgewendet, geliefert werden, um den Vorgang überhaupt zu ermöglichen.

„Nur stark glühende Kohle vermag so viel Wärme abzugeben, wobei natürlich ihre Temperatur selbst abnimmt. Wird die aufgewendete Wärme nicht nachgeliefert, so verliert die Kohle rasch ihre Fähigkeit, sich mit der Kohlensäure zu verbinden.“

Dissociation nennt man eine partielle Zersetzung der Verbrennungsproducte, welche vor sich geht, sobald diese über eine gewisse Temperatur hinaus erhitzt werden.

Die Temperatur einer Flamme, beziehungsweise der Verbrennungsproducte oder Gasgemenge, kann man, wie in §. 175 gezeigt ist, aus der Verbrennungswärme, dem calorimetrischen Effecte des Gases und aus der specifischen Wärme des Gasgemenges unter gewissen Annahmen berechnen, so auch unter der Annahme, dass die Verbrennung bei der in dem Gasgemenge herrschenden Temperatur eine vollkommene sei. So sind oben hypothetisch die Temperaturen bei der Verbrennung des Kohlenstoffs zu Kohlensäure, je nachdem nur gerade die nöthige oder die doppelte Luftmenge dabei aufgewendet wird, zu 2700 und 1404° C. berechnet; für die Temperatur des Knallgasgebläses, wobei man eine Mischung von 2 Volumen Wasserstoffgas und 1 Volumen Sauerstoffgas zur Verbrennung kommen lässt, wird sogar die Temperatur 6758° C. durch solche Berechnung gefunden, während sie durch Versuche von Henri Saint Claire Deville und Debray experimentell zu 2500° und später (1867) von Bunsen bei Verbrennung unter constanten Volumen zu ungefähr 2844° gefunden wurde.

Die Temperatur, bei welcher die Dissociation beginnt, liegt zwischen 900 und 1000° C. Sobald diese erreicht ist, wird ein Theil der zugeführten Wärme auf die Zersetzung der chemischen Verbindung verwendet. Die Temperatur nimmt zwar bei weiterer Wärmeaufnahme noch zu, allein in verhältnissmässig geringerem Grade, gleich als wenn die specifische Wärme des Gases mit wachsender Temperatur grösser würde. Dabei wird aber auch die Dissociation lebhafter, und bei einer gewissen Temperaturhöhe nimmt sie die ganze zugeführte Wärme in Anspruch, so dass alsdann trotz weiterer Wärmezuführung die Temperatur constant bleibt, wie beim Schmelzen eines starren Körpers oder beim Verdampfen einer wasserförmigen Flüssigkeit.

Aus den Bunsen'schen Versuchen*) hat sich weiter ergeben, dass sowohl bei dem reinen Kohlenoxydknallgase ($^2/_3$ Volumen Kohlenoxydgas und $^1/_3$ Volumen Sauerstoffgas) als auch bei dem Wasserstoff-Knallgase während des Temperaturmaximums von dem ganzen vorhandenen Kohlenoxyd oder Wasserstoff fast genau nur der dritte Theil verbrennt, während die übrigen $^2/_3$ durch Erhitzung auf die Temperatur von 2558 bis 3033° die Fähigkeit sich zu verbinden verloren haben; dass ferner bei denselben beiden Knallgasen, wenn 1 Volum derselben successiv mit 0,686 bis 3,163 Volumen nicht mitverbrennenden Gases verdünnt wird und die Flammentemperatur in Folge dessen von 2471° auf 1146° C. herabsinkt, bei allen Temperaturen dieses Intervalls fast genau die Hälfte des Kohlenoxyds und Wasserstoffs verbrennt, während in der anderen Hälfte Sauerstoff und Kohlenoxydgas oder Sauerstoff und Wasserstoff die Fähigkeit verloren haben, sich mit einander zu verbinden.

Diese verlorene Fähigkeit erhalten jedoch die Gase wieder bei sinkender Temperatur, so dass in Folge der Dissociation bedeutende Schwankungen der Temperatur in einem Strome von Verbrennungsgasen vorkommen können.

Aus diesen Mittheilungeu über Reduction und Dissociation ist der praktische Schluss zu ziehen, dass rasche Ueberführung der im Feuerraum entwickelten Wärme nach aussen im Allgemeinen vortheilhaft sein muss.

§. 177.

Die Brennmaterialien und ihre chemische Zusammensetzung.

Alle festen Brennmaterialen bestehen aus Cellulose, Pflanzenfaser. Diese ist entweder in frischem, unverändertem Zustande, oder in fossilem, d. i. unter der Erde natürlich verändertem, versteinertem, mineralischem, oder endlich in künstlich verändertem Zustande.

Danach pflegt man die Brennmaterialen oder Brennstoffe in folgender Weise einzutheilen:

1. Natürliche Brennstoffe,
   a) vegetabilische, hauptsächlich Holz, dann Stroh, Schilf u. dgl.
   b) fossile oder mineralische Brennstoffe, welche dem Schosse der Erde entnommen werden als Torf, Braunkohlen, Steinkohlen, Anthracit.

*) Poggendorff's Annalen 1867 S. 173.

2. Künstliche Brennstoffe, welche aus den vegetabilischen oder fossilen hergestellt werden, nämlich Holzkohle, Torfkohle, Koks von Braun- und Steinkohlen, Briquetten, geformte oder Pariser Kohle, Lohkuchen u. dgl.

Zu den künstlichen Brennmaterialien sind auch die gasförmigen Producte der Destillation und unvollkommenen Verbrennung der festen Brennmaterialien zu rechnen, als: Leuchtgas, Gichtgase, Generatorgase.

Das Wichtigste über die genannten Brennstoffe soll im Folgenden mitgetheilt werden.

Das Holz hat eine wenig verschiedene chemische Zusammensetzung. Alle Holzarten enthalten Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, daneben wenig Asche, welche aus Salzen und Erden besteht. Der Kohlenstoffgehalt beträgt nahezu die Hälfte des Gewichtes bei gedörrtem Holze, welches kein hygroskopisches Wasser enthält. Gewöhnliches lufttrockenes Holz enthält nahezu 0,4 Kohlenstoff und 0,2 Wasser. Ausserdem enthält das Holz ungefähr 0,06 Wasserstoff und 0,44 Sauerstoff; der Sauerstoffgehalt ist also nicht ganz achtmal so gross als der Wasserstoffgehalt. Als wahrscheinlich wird angenommen, dass der Sauerstoff mit dem achten Theil seines Gewichts Wasserstoff im Holze als Wasser vorhanden sei, aber im Gegensatze zum hygroskopischen Wasser als chemisch gebundenes Wasser, welches nicht durch Austrocknen beseitigt werden kann.

Die angegebenen Zahlen geben nicht genau die Summe 1,00, weil sie nur annähernde Mittelwerthe sind.

Die verschiedenen Holzarten brennen nicht in gleicher Weise, die weichen mehr mit Flamme, weil sie wasserstoffreicher sind, und rascher, weil sie poröser sind, desshalb der Luft in das Innere mehr Zutritt gestatten. Die harten Holzarten dagegen erzeugen die Hitze weniger schnell, concentriren sie mehr und hinterlassen eine stärkere Kohlengluth.

Weiches Holz eignet sich vorzugsweise für gewerbliche Feuerungen, wie Bäckereien, Brauereien, Glashütten, Ziegeleien u. dgl., weil es schnell grosse Hitze entwickelt, die sich vermöge der starken Flamme über einen grossen Heizraum ausbreitet. Hartes Holz ist mehr beliebt für häusliche Feuerungen, für Zimmer und Küche, weil da ein weniger grelles, dafür gleichmässiger anhaltendes Feuer dem Bedürfniss mehr entspricht.

Bei vollständiger Trockenheit und Unverdorbenheit müssten gleiche Gewichtsmengen aller Holzarten, vollständig und vollkommen verbrannt,

nahezu gleiche Wärmemengen produciren. Wegen der ungleichen Menge hygroskopischen Wassers in gleichen Gewichtstheilen ist für gleich lufttrockenes Holz der Brennwerth der gewöhnlich verwendeten Holzarten bei Buchenholz am grössten, geringer bei Eichen-, Birken und Kiefernkernholz, noch geringer bei Kiefernstamm-, Fichten- und Tannenholz.

Der Torf wird gefördert aus grossen Ablagerungen von erstorbenen Pflanzengenerationen, die, von Wasser durchdrungen dem Einflusse der Luft fast ganz entrückt, eine allmähliche Zersetzung erlitten haben. Er ist demnach ein Gemenge von theilweise zerstörten und in Zersetzung begriffenen Pflanzentheilen, wobei Stengel und Wurzeln oft noch deutlich zu erkennen sind, und diese Zersetzung besteht hauptsächlich in einer Umwandlung der Holzfaser in Humusstoffe, bedingt durch die eingetretene Verwesung der holzigen Theile unter der Einwirkung von Feuchtigkeit.

Die chemische Zusammensetzung des Torfs ist ausserordentlich verschieden, namentlich in dem Mengenverhältniss der Asche und erdigen Theile zu den von Pflanzen stammenden Bestandtheilen. Diese enthalten, wie das Holz, Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff, zuweilen auch etwas Schwefel. Es enthalten 100 kg durch künstliches Trocknen wasserfrei gemachten Torfs von bester Qualität ungefähr 54 kg Kohlenstoff, 5 kg Wasserstoff und 33 kg Sauerstoff. Der Aschengehalt variirt von $^1/_2$ bis 50 Procent des Gewichts; oft bilden grosse Mengen thoniger Massen den Verbrennungsrückstand. Doch finden sich auch ausserdem in Bezug auf die Qualität grosse Unterschiede, welche aus dem Alter und der Bildungsweise des Torfs zu erklären sind. Im Allgemeinen ist der Torf um so schwerer und besser, je weiter die Zersetzung der Pflanzensubstanz vorgeschritten ist. So nennt man den Torf mit Rücksicht auf seine Qualität Rasentorf, jungen braunen Torf, Erdtorf, Pechtorf. Letzterer ist der schwerste, doch ist auch sehr schwerer Torf oft schlecht, wenn er nämlich viel Thon und Sand enthält. Nach dem äusseren Ansehen unterscheidet man auch Blättertorf, Wurzeltorf, Fasertorf, Holztorf, Moostorf, Sumpftorf u. s. w., sowie nach der Gewinnungsweise Stichtorf und Streichtorf.

Werthvoller wird der Torf durch Compression. Künstlich comprimirter Torf hat beinahe die Härte des Holzes.

Braunkohlen sind Kohlen der jüngsten Kohlenformation. Sie haben zuweilen ein torfähnliches Ansehen, jedoch ohne das fast bei allen

Torfarten erkennbare Wurzelgewebe. Solche Braunkohle heisst auch Moorkohle, während die feste Braunkohle, an welcher sich die Holztextur noch erkennen lässt, den Namen bituminöses Holz oder Lignit führt.

Diese Reste ehemaliger Wälder unterscheiden sich von den Schwarz- oder Steinkohlen, wie bereits angedeutet, dadurch, dass bei den Braunkohlen die Zersetzung noch nicht so weit vorgeschritten ist. Sie stehen auch in Betreff ihrer Eigenschaften zwischen Torf und Steinkohlen mit vielen Uebergangsstufen. Sie brennen unter Entwickelung eines unangenehmen Geruchs mit ziemlich hell leuchtender Flamme, ohne zu schmelzen und sich aufzublähen. Der Aschengehalt beträgt gewöhnlich 3 bis 6 Procent, doch zuweilen kaum 1 und zuweilen über 50 Procent, im letzteren Fall, wie beim Torf, meistens aus Sand und Thon bestehend. Die Grubenfeuchtigkeit beträgt 30 bis 50 Procent des Gewichtes. Analysen von trockenen Braunkohlen haben für 1 kg im Durchschnitt folgende Bestandtheile ergeben: 0,67 Kohlenstoff, 0,05 Wasserstoff, 0,20 Sauerstoff und 0,08 Asche.

Die Steinkohlen, ebenfalls Reste einer vorhistorischen Pflanzenwelt, stammen jedoch von anderen Pflanzen, namentlich von holzigen Farren, die ehemals unter ganz anderen Verhältnissen wuchsen. Die Verkohlung ist auch vollständiger erfolgt, wesshalb sie selten Spuren von Holzstructur zeigen und vorherrschend schwarze Farbe haben.

Nach R. Peters lassen sich die Steinkohlen wie folgt unterscheiden und nach dem zunehmenden Alter ordnen:

1) Magere langflammige Steinkohlen, magere Flammkohlen.
2) Sinternde langflammige Steinkohlen, sinternde Flammkohlen.
3) Backende langflammige Steinkohlen, backende Flammkohlen.
4) Backende kurzflammige Steinkohlen, Fettkohlen.
5) Sinternde kurzflammige Steinkohlen, Esskohlen.
6) Magere kurzflammige Steinkohlen, Anthracitkohlen.

Andere übliche Benennungen der Steinkohlen sind Backkohlen, Sinterkohlen, Sandkohlen, je nachdem sie beim Erhitzen stark oder wenig oder gar nicht erweichen.

Die Steinkohlen geben meistens ein ziemlich lebhaftes, aber leicht Russ absetzendes Feuer. Der Verbrennungsrückstand beträgt zuweilen an 30 Procent, soll aber bei guten Steinkohlen 8 Procent nicht übersteigen.

Die Steinkohlen enthalten als wesentliche Bestandtheile Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in sehr verschiedenen Verhältnissen, dann ausser der Asche etwas Stickstoff, Schwefel, auch Phosphor.

Die Hauptbestandtheile betreffend ist beispielsweise nach der chemischen Analyse einer Fettkohle deren procentische Zusammensetzung:

89 kg Kohlenstoff
5 „ Wasserstoff
6 „ Sauerstoff

Da 6 kg Sauerstoff nur $^6/_8$ = 0,75 kg Wasserstoff zur Wasserbildung erfordern, so sind in solcher Kohle an freiem Wasserstoff noch 5,00 — 0,75 = 4,25 kg vorhanden. Dieser freie Wasserstoff verbindet sich bei der Destillation der Steinkohle mit einem Theil des Kohlenstoffs zu Kohlenwasserstoffgasen.

Anthracit ist eine sehr harte, schwarze, glasglänzende, im Bruch muschelige Steinkohle, bei welcher alle Spuren von organischer Substanz völlig verschwunden sind. Er ist das älteste und kohlenstoffreichste Zersetzungsproduct der Holzfaser, auch verändert durch vulkanisches Feuer. In Europa kommt der Anthracit wenig vor, häufig aber in Nordamerika, besonders in Pennsylvanien, wo er zur Stubenfeuerung viel benützt wird. Diese Feuerung ist sehr reinlich, erfordert aber starken Zug. Der Anthracit lässt sich nur schwer entzünden, brennt langsam ohne Flamme, ohne Geruch und sichtbaren Rauch; er entwickelt, einmal in Brand gebracht, bedeutende Hitze.

Die Holzkohle besteht hauptsächlich aus Kohlenstoff; Asche gebende Bestandtheile und andere Beimengungen sind in geringer Menge vorhanden, in höherem Masse variirt, wie leicht erklärlich, der Feuchtigkeitsgehalt. Eine gute lufttrockene Holzkohle enthält durchschnittlich 85 Procent Kohlenstoff, 12 Procent hygroskopisches Wasser und 3 Procent Asche; sie ist ziemlich hart, fest, hell klingend und spröde, glänzend, schwarz, oft mit einem graublauen Ueberzuge; leicht entzündlich, glüht und verbrennt ohne ausgebildete Flamme, höchstens sieht man blaue Flämmchen, brennendes Kohlenoxydgas, davon aufsteigen.

Die Gewichtsmenge der Kohle im Verhältniss zu der Holzmenge, woraus sie durch die Verkohlung gewonnen wurde, ist um so grösser, je langsamer die Verkohlung bewerkstelligt wird; sie ist verschieden zwischen 12 und 33 Procent des trockenen Holzes. Man kann annehmen, dass bei der gewöhnlichen ungefähr 8 Tage dauernden Verkohlungsweise aus einem Kilogramm trockenen gesunden Holzes, worin

nahezu $^1/_2$ kg Kohlenstoff enthalten ist, durchschnittlich $^1/_4$ kg Kohle gewonnen wird. Die Hälfte des im Holze enthaltenen Kohlenstoffs geht also gänzlich verloren, wo nicht die Verkohlung in geschlossenen Gefässen, Retorten ausgeführt wird und die dabei entstehenden Kohlenoxyd- und Kohlenwasserstoffgase aufgefangen und zu technischen Zwecken, Gasbeleuchtung, Gasheizung u. s. w. verwendet werden.

Torfkohlen (Torfkoks) werden entweder durch Verkohlung in Retorten, hauptsächlich als Nebenproduct bei der Torfgasbereitung, oder durch Verkohlung in Oefen gewonnen, wo das aus dem Torf frei werdende Gas mit als Brennmaterial benützt wird, oder durch Verkohlung in Meilern dargestellt. Sie sind weicher als Holzkohlen und geben durchschnittlich keine so intensive Hitze. Der Rückstand beträgt 4 bis 56 Procent.

Die Verkokung des Torfs in Oefen wird erfolgreich zu Himmelmoor im Holsteinischen betrieben. Die dort gewonnenen Torfkoks sollen mitunter die Holzkohlen an Heizwerth übertreffen und in Folge dessen in zahlreichen Werkstätten mit Vortheil eingeführt sein.

Braunkohlenkoks stehen den Koks von Steinkohlen an Werth bedeutend nach. Im Allgemeinen sind die Braunkohlen von allen Brennstoffen am wenigsten zum Verkohlen geeignet. Sie müssen sehr bituminös und frei von fremden und erdigen Beimengungen sein, um Koks zu geben. Auch bei den besten Braunkohlen ist die Koksausbeute zu gering, um ökonomisch vortheilhaft zu sein. Doch wird in manchen Gegenden unter günstigen Umständen die Lignitverkohlung in Meilern betrieben.

Steinkohlenkoks, gewöhnlieh kurzweg Koks genannt, sind das Product der trockenen Destillation der Steinkohlen, wonach man auch Backkoks, Sinterkoks und Sandkoks unterscheidet. Am meisten in Anwendung für häusliche Feuerungen sind die Gaskoks, Nebenproduct bei der Bereitung des Leuchtgases aus Steinkohlen. Diese Koks, namentlich solche, welche wenig zusammenbacken, eignen sich vorzüglich zur continuirlichen wie auch zur unterbrochenen Heizung mit Füllöfen, überhaupt zur Stuben- und Küchenfeuerung, wenn die Feuerungsapparate dazu eingerichtet sind. Gegenüber der Feuerung mit Steinkohlen, Braunkohlen und Torf sind für die Koksfeuerung die Vorzüge grosser Reinlichkeit und Bequemlichkeit hervorzuheben, sowie die Vermeidung der bei jenen Brennmaterialien häufig vorkommenden Verpuffungen, Explosionen im Feuerraum, wodurch die Wohnungen zuweilen mit Rauch gefüllt werden.

Die Koks enthalten, von der variabeln hygroskopischen Feuchtigkeit abgesehen, im Durchschnitt gegen 90 Procent Kohlenstoff, ausserdem nur Asche. Aus 100 kg Steinkohlen werden 40 bis 70 kg Koks gewonnen, und zwar mehr aus mageren als aus fetten Steinkohlen und mehr bei der Verkokung in geschlossenen Oefen als in freien Haufen.

Pariser oder geformte Kohle wird aus sonst unbrauchbaren Pflanzenkohlen von Heidekraut, Ginster, gebrauchter Gerberlohe, Abfällen von Holz- und Torfkohlen u. dgl. bereitet, welchen man durch Beimischen von Holztheer, Steinkohlentheer und durch Verkohlen Zusammenhang gibt. Die Masse erhält mittels Maschinen die Form massiver Cylinder, welche langsam brennen und eine intensive Hitze geben.

Briquetten oder Kohlenziegel, so nach der Ziegelform genannt, werden mit verschiedenen Zusammensetzungen bereitet. Gewöhnlich werden sie aus sonst schlecht verwendbaren pulverförmigen Abfällen von Steinkohlen durch Mischung mit Steinkohlentheerpech und durch Pressung hergestellt. Sie sind ein gutes und verhältnissmässig billiges Brennmaterial, entwickeln aber leicht Rauch.

Auch aus gedarrtem Torfpulver werden unter sehr grossem Druck hübsche Tafeln, Torfbriquetten genannt, hergestellt, so bei Büchen in der Nähe von Hamburg. Präparirte Torfbriquetten werden, wie andere, mitunter zur Erwärmung von Eisenbahnwagen benützt.

Lohkäse oder Lohkuchen bestehen aus gebrauchter Gerberlohe, welche von den Gerbern aus der Lohgrube genommen, gepresst und getrocknet wird. Bei dem gewöhnlich geringen Preise benützt man sie gerne zum Anfeuern, auch zur Erzielung mässiger und andauernder Heizung.

Von 125 kg Eichenrinde werden 100 kg Gerberlohe gewonnen, deren Heizwerth so gross wie von 30 kg Steinkohlen angenommen werden kann.

In Bezug auf die gasförmigen Brennstoffe ist zunächst zu erwähnen, dass die nach der verwendeten Kohlensorte und der Dauer des Destillationsprocesses sehr schwankende Zusammensetzung des Steinkohlen-Leuchtgases, wie bereits in §. 99 für 100 Raumtheile Brenngas angegeben worden ist, angenommen werden kann, oder auch für 1 kg Leuchtgas nach neueren Analysen im Durchschnitt wie folgt:

0,18 kg ölbildendes Gas $C_4 H_4$
0,54 „ Grubengas $C_2 H_4$
0,05 „ Wasserstoffgas H
0,15 „ Kohlenoxydgas CO
0,08 „ Stickstoffgas N

1,00 kg Leuchtgas.

Generatorgase, welche durch unvollkommene Verbrennung fester Brennmaterialien, in der Regel solcher von geringer Qualität, in besonders construirten Oefen, Generatoröfen, bei beschränkter Luftzuführung erzeugt werden, enthalten als brennbaren Bestandtheil hauptsächlich Kohlenoxydgas und zwar 22 bis 34 Gewichtsprocent davon, ausserdem 53 bis 65 Procent Stickstoff, 1 bis 14 Procent Kohlensäure und zuweilen etwa 1 Procent Wasserstoffgas.

Fast die gleiche Zusammensetzung haben auch die Hochofen-Gichtgase, doch enthalten sie bei Verwendung von Steinkohlen noch ungefähr 6 Procent verschiedener Kohlenwasserstoffverbindungen beigemengt.

§. 178.

Heizwerth der Brennmaterialien.

Unter Heizwerth eines Brennmaterials, auch Heizkraft oder Erwärmungskraft, theoretischer oder totaler Heizeffect, calorimetrischer Effect genannt, versteht man die in Calorien ausgedrückte Wärmemenge, welche durch vollkommene Verbrennung von einem Kilogramm des Brennmaterials gewonnen werden kann.

Kennt man die chemische Zusammensetzung des Brennmaterials, und die Wärmemenge, welche durch die vollkommene Verbrennung von einem Kilogramm Kohlenstoff und Wasserstoff entwickelt wird (§. 175), so lässt sich der Heizwerth des Brennmaterials berechnen.

Man pflegt dabei die Zahl der Calorien für diejenige Wärmemenge anzugeben, welche als sogenannte freie Wärme in den luftförmigen Verbrennungsproducten enthalten sein könnte. Es sind also bei Berechnungen die Ausnahmsfälle zu beachten, in welchen die Verbrennungsproducte auf die Anfangstemperatur der Luft und der Brennstoffe oder überhaupt auf eine solche Temperatur abgekühlt werden, bei welcher das luftförmige Wasser tropfbar gemacht und folglich auch die Verdampfungswärme oder sogenannte gebundene Wärme gewonnen wird.

Was den Gehalt an Wasserstoff betrifft, so ist nur der freie

Wasserstoff für die Wärmeentwicklung in Rechnung zu ziehen. Soweit Wasserstoff neben Sauerstoff im Wasser bildenden Verhältniss vorhanden ist, trägt er zur Wärmeentwicklung nicht bei. Nach der vorherrschenden Annahme vermindert diese Menge von Wasserstoff und Sauerstoff, welche man zusammen als chemisch gebundenes Wasser vorhanden denkt, auch nicht die entwickelte Wärmemenge, kann also unberücksichtigt bleiben, während dagegen die Verdampfungswärme für das hygroskopische Wasser zu berücksichtigen ist.

Grössere Wahrscheinlichkeit hat die Annahme Grashof's*), dass das chemisch gebundene Wasser in Betreff des Heizeffects nicht nur ohne Nutzen, sondern sogar schädlich ist, indem es eine gewisse Wärmemenge zu seiner Verdampfung in Anspruch nimmt, und zwar nicht nur in runder Zahl 600 Calorien, wie das flüssig vorhandene hygroskopische, sondern zugleich die Schmelzwärme festen Wassers, also im Ganzen etwa 680 Calorien pro 1 kg.

Der calorimetrische Effect des Wasserstoffs mag unter Ausschluss der Condensation des Wasserdampfs nach §. 175 rund zu 29 060 angenommen werden; ferner der calorimetrische Effect des Kohlenstoffs bei vollkommener Verbrennung in runder Zahl zu 8000, weil sich die oben angegebene Zahl 8080 auf reine Holzkohle bezieht, bei dichterem Kohlenstoff der Werth aber kleiner ist, z. B.

bei Gasretortenkohle . . 8047,
„ natürlichem Graphit . 7811,
„ Diamant 7770,

und weil man nicht weiss, mit welcher Dichtigkeit der Kohlenstoff in einem Brennmaterial enthalten ist.

Danach kann der theoretische oder totale Heizeffect W eines festen Brennmaterials, welches in einem Kilogramm ausser der Asche die Bestandtheile enthält:

C kg Kohlenstoff,
H „ freien Wasserstoff,
HO „ chemisch gebundenes Wasser,
w „ hygroskopisches Wasser,

durch die Formel berechnet werden:

$$W = (8000\ C + 29\,060\ H - 680\ HO - 600\ w) \text{ Calorien.}$$

Folgende Tabelle gibt nach Grashof die mittlere Zusammensetzung der wichtigsten festen Brennstoffe und die nach vorstehender Formel berechneten Heizwerthe an.

*) Theoretische Maschinenlehre von Dr. F. Grashof, 5. Lieferung, 1875.

Brennmaterial.	Kohlenstoff C	Wasserstoff H	Chem. Wasser HO	Hygr. Wasser w	Asche	Heizwerth W
Lufttrocknes Holz . . .	0,39	—	0,40	0,195	0,015	2731
Lufttrockner Torf . . .	0,35	0,01	0,29	0,25	0,10	2743
Lufttrockne Braunkohle	0,50	0,015	0,205	0,20	0,08	4176
Steinkohle	0,80	0,04	0,09	0,03	0,04	7483
Holzkohle	0,85	0,01	0,03	0,06	0,05	7034
Koks	0,87	0,005	0,015	0,05	0,06	7065

Die für **gasförmige Brennstoffe** berechneten Heizwerthe sind pro 1 kg:

Steinkohlen-Leuchtgas	10113
Generatorgase von Holz	1107
„ „ Torf	819
„ „ Holzkohle . . .	816
„ „ Koks	816

Diese theoretischen oder totalen Heizeffecte werden in der Praxis nicht ganz, doch zuweilen unter günstigen Umständen annähernd erreicht. Im Durchschnitt kann man bei guten Feuerungsanlagen $^2/_3$ dieses totalen Heizeffects als nutzbaren Heizeffect rechnen, welcher theils durch directe Strahlung vom Feuerherde aus, theils durch Entwärmung der Feuerluft gewonnen wird.

Es ist von Interesse zu wissen, in welchem Verhältniss die entwickelten Wärmemengen zu der Menge des verzehrten Sauerstoffs stehen. Mitunter ist die Annahme gemacht worden, dass der Heizeffect eines Brennstoffs dem bei der Verbrennung verbrauchten Sauerstoff proportional sei. Allein aus den Versuchswerthen von Favre und Silbermann ergeben sich ungleiche Werthe für 1 kg Sauerstoff.

Verbindet sich 1 kg Wasserstoff mit 8 kg Sauerstoff zu Wasser, so werden 34 462 Calorien entwickelt, und für 1 kg Sauerstoff beträgt die Wärmeentwicklung:

$$\frac{34\,462}{8} = 4308 \text{ Calorien} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Wenn man aber die für Wasserdampfbildung geltende Zahl 29 062 (§. 175) einführt, ist die Wärmeentwicklung pro Kilogramm Sauerstoff:

$$\frac{29\,062}{8} = 3633 \text{ Calorien} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

Verbindet sich ferner 1 kg fester Kohlenstoff mit $^{8}/_{3}$ kg Sauerstoff zu Kohlensäure, so werden 8080 Calorien entwickelt; die Wärmeentwickelung beträgt hier für 1 kg Sauerstoff

$$8080 \cdot \frac{3}{8} = \frac{24\,240}{8} = 3030 \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (3$$

Führt man aber die vollständige Verbindungswärme ein, unter Voraussetzung gasförmigen Kohlenstoffs (§. 175) nämlich 11 214 Calorien, so wird die Wärmeentwicklung für 1 kg Sauerstoff:

$$11\,214 \cdot \frac{3}{8} = \frac{33\,642}{8} = 4205 \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (4$$

Die obigen vier Werthe sind zwar ungleich, doch ist die Verschiedenheit nicht so bedeutend, dass nicht für annähernde praktische Berechnungen ein Mittelwerth benützt werden dürfte. Man findet den Werth 3350 angewendet, welcher nahezu das arithmetische Mittel des obigen zweiten und dritten Werthes ist.

§. 179.

Luftbedarf und Verbrennungstemperatur. Einfluss der Strahlung.

Die Luftmenge, welche zu der Verbrennung von 1 kg Brennmaterial erforderlich ist, lässt sich berechnen, wenn man die Zusammensetzung des betreffenden Brennmaterials sowie der zur Verbrennung dienenden Luft und der bei der Verbrennung entstehenden Gase kennt. Da wegen der verschiedenartigen nicht berechenbaren Nebenumstände die Berechnung nur eine approximative sein kann und auch nur eine solche zu sein braucht, so genügen als Grundlage der Rechnung runde Näherungswerthe.

Es sei für ein Brennmaterial, welches Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff enthält, unter der Voraussetzung einer vollständigen und vollkommenen Verbrennung die nöthige Luftmenge zu berechnen.

Nach §. 172 sind, um 1 kg Kohlenstoff zu Kohlensäure zu verbrennen, $^{8}/_{3}$ kg Sauerstoff nothwendig, also, da die Gewichtsmenge der Luft sich zu der darin enthaltenen Sauerstoffmenge wie 100 : 23 verhält:

$$\frac{8}{3} \cdot \frac{100}{23} = 11{,}6 \text{ kg Luft.}$$

Um 1 kg Wasserstoff zu Wasserdampf zu verbrennen, werden 8 kg Sauerstoff erfordert, oder

$$8 \cdot \frac{100}{23} = 34{,}8 \text{ kg Luft.}$$

Von dem im Brennmaterial vorhandenen Wasserstoff ist hiebei nur die freie Menge desselben zu berücksichtigen, welche, wenn das Brennmaterial H kg Wasserstoff und O kg Sauerstoff enthält, ausgedrückt ist durch die Differenz

$$(H - {}^1/_8\, O) \text{ kg},$$

weil im chemisch gebundenen Wasser an 1 kg Sauerstoff $^1/_8$ kg Wasserstoff gebunden ist.

Zu der vollkommenen Verbrennung von 1 kg Brennstoff ist demnach eine Luftmenge L kg erforderlich, welche durch die Formel gegeben ist:

$$L = 11{,}6\, C + 34{,}8\, (H - {}^1/_8\, O) \text{ kg}.$$

Die Luftmengen, welche man mittels dieser Formel aus der chemischen Zusammensetzung der Brennstoffe berechnet, und mit welchen, theoretisch betrachtet, die vollkommene Verbrennung möglich wäre, genügen bei den Feuerungsanlagen für die vollkommene Verbrennung n i c h t. Man unterscheidet desshalb die theoretischen und wirklichen Luftmengen. Letztere sind 1 $^1/_2$ bis 3 mal so gross als die theoretischen.

Es ist zweckdienlich, um die Luftzuführungseinrichtungen in jedem Falle genügend zu machen, nach der Erfahrung für die Verbrennung von 1 kg Brennmaterial folgende Luftmengen in Rechnung zu bringen:

Für 1 kg	lufttrocknes Holz	9	kg	Luft,
„ 1 „	vollkommen trocknes Holz . .	12	„	„
„ 1 „	lufttrocknen Torf	10	„	„
„ 1 „	vollkommen trocknen Torf . .	14	„	„
„ 1 „	Braunkohlen	12	„	„
„ 1 „	Holzkohlen, Steinkohlen, Koks .	21	„	„

Uebrigens ist nicht ausser Acht zu lassen, dass, wie bereits oben (§. 175) auseinandergesetzt, der pyrometrische Effect durch die reichliche Luftzuführung vermindert wird. Die Luftzuführung ist desshalb nach Umständen durch Regulirungsvorrichtungen zu beschränken.

Wie der pyrometrische Effect, die T e m p e r a t u r d e r V e r b r e n n u n g s g a s e, hypothetisch berechnet werden kann, ist oben (§. 175) gezeigt. Folgende Tabelle gibt nach R e d t e n b a c h e r*) für ver-

---

*) R e d t e n b a c h e r, der Maschinenbau 1863, 2. Band S. 303. Die Zahlen der chemischen Zusammensetzung ergänzen sich auch im Original nicht immer auf 1, und der Berechnung ist eine nicht ganz mit obigen Auffassungen übereinstimmende Formel zu Grunde gelegt. Doch sind die Temperaturen der Verbrennungsgase von den genauer berechneten wenig verschieden und auch diese haben als hypothetische Resultate nur relativen Werth.

schiedene Brennstoffe bei mittlerer Zusammensetzung die Temperaturen der Verbrennungsgase nach Rechnung an, und zwar sowohl, wenn die Verbrennung mit dem Minimum von atmosphärischer Luft geschieht, als auch für den Fall, dass die Luftmenge doppelt so gross ist.

Brennmaterial	Chemische Zusammensetzung					Temperatur der Verbrennungsgase	
	C	*H*	*O*	Hygr. Wasser	Asche	bei Minimum von Luft	bei doppelter Luftmenge
						Celsiusgrade	
Holz, wasserleer .	0,493	0,063	0,444	0,000	0,015	1870	1010
Holz, lufttrocken .	0,394	0,051	0,355	0,200	0,015	1615	963
Torf, wasserleer .	0,541	0,055	0,326	0,000	0,076	1930	1111
Torf, lufttrocken .	0,443	0,044	0,261	0,200	0,061	1780	1000
Steinkohlen	0,815	0,054	0,071	0,000	0,030	2350	1204
Holzkohlen	0,930	0,000	0,000	0,000	0,070	2185	1130
Koks	0,850	0,000	0,000	0,000	0,150	2180	1130
Anthracit	0,900	0,040	0,032	0,000	0,028	2340	1210
Wasserstoffgas in Sauerstoffgas verbrannt	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	6700	

Die in der Tabelle angegebenen Temperaturen sind unter der Annahme berechnet, dass die entwickelbaren Wärmemengen vollständig in den Verbrennungsgasen enthalten seien, dass also der Einfluss der Strahlung vom Feuerherde aus gleich Null sei. Diese Annahme ist insofern zu rechtfertigen, als für die Berechnung des Einflusses der Strahlung genügend sichere Grundlagen nicht vorhanden sind. Als am meisten maassgebend werden bis jetzt die Péclet'schen Versuchsergebnisse betrachtet, die jedoch auch nur für approximative Schätzungen dienen können. Nach diesen kann man den Betrag der ausgestrahlten Wärme annehmen:

beim	Holze	$^1/_4$	der totalen Verbrennungswärme,
„	Torf	$^1/_4$ bis $^1/_3$	„ „ „
bei	Holzkohlen . . .	$^1/_3$ „ $^1/_2$	„ „ „
„	Torfkohlen . . .	desgl.	„ „ „
„	Braunkohlen . .	desgl.	„ „ „
„	Steinkohlen . . .	desgl.	„ „ „
„	Koks	über $^1/_2$	„ „ „

Die ausgestrahlte Wärme ist aber für dasselbe Brennmaterial veränderlich; sie ist im Verhältniss zu der gleichzeitig nutzbar entwickelten totalen Verbrennungswärme um so grösser, mit je weniger Flamme und Rauch die Verbrennung stattfindet, dann je grösser der Ueberschuss der Temperatur des glühenden Brennstoffs über jener der bestrahlten Heizwand ist, ferner je grösser der Umfang dieser ist und je grösser die strahlende Oberfläche der glühenden Brennstoffmasse, endlich je geringer innerhalb gewisser Grenzen die Brennstoffmenge ist, welche in bestimmter Zeit auf einer bestimmten Rostfläche verbrannt wird, was mit der Schichthöhe und Zugstärke zusammenhängt. Bei der Wichtigkeit des ausgestrahlten Wärmebetrags für die Wirksamkeit einer Heizfläche ist die genauere Feststellung von Coëfficienten durch Versuche mit Berücksichtigung der verschiedenen angedeuteten Umstände sehr zu wünschen.

§. 180.

Die aus der Verbrennung entstehende Gasmenge.

Die Gewichtsmenge der aus dem Feuerraume abzuführenden Gase berechnet sich als die Summe des Gewichts der zugeführten atmosphärischen Luft und des verbrannten Brennmaterials mit Abzug der nicht verbrannten Bestandtheile desselben, der Asche und der Schlackenmenge. Von der Russbildung mag hiebei abgesehen werden.

Bezeichnet man mit L_1 das Gewicht der abziehenden Gasmenge bei Verbrennung von 1 kg Brennmaterial, dessen Rückstand R kg beträgt, und ist L kg die zugeführte Luftmenge, so wird allgemein:

$$L_1 = (L + 1 - R) \text{ Kilogramm.}$$

Bei der Verbrennung ohne Rückstand, also bei gasförmigem Brennmaterial ist $R = o$, also

$$L_1 = (L + 1) \text{ Kilogramm.}$$

Die Volummenge lässt sich aus der Gewichtsmenge ohne Schwierigkeit nach früheren Angaben hinreichend genau berechnen. Für die Brennstoffe, welche keinen Wasserstoff enthalten, ist das Volumen der abzuführenden Gase gleich dem Volumen der zugeführten Luft bei gleicher Temperatur, weil hiebei die Kohlensäure dasselbe Volum hat, wie der zu ihrer Bildung verwendete Sauerstoff.

Es mag hier jedoch eine Tabelle nach Weisbach beigefügt werden, aus welcher die Volumenmengen in den meisten Fällen unmittelbar entnommen werden können.

Darin sind zugleich die aus 1 kg Brennstoff zu entwickelnden Wärmemengen angegeben, jedoch als calorimetrische Effecte, die für vollkommene Verbrennung in runden Zahlen theoretisch berechnet, also bei Rechnungen für die Anwendung auf 60 bis 66 Procent zu vermindern sind.

Die als Rechnungsresultate mit mehreren Decimalstellen angegebenen Zahlen, welche das Volumen der zuzuführenden kalten Luft bezeichnen, sind für die Anwendung erwünscht; sie können unmittelbar in die Rechnung eingeführt, jedoch auch abgerundet werden, da diese Luftmengen einen reichlichen Luftüberschuss darstellen. Gleiches gilt von den Zahlen der beiden letzten Rubriken.

Brennmaterialien. 1 kg	Wärmemengen von 1 kg Brennmaterial. Calorien	Kalte Luft zur Verbrennung von 1 kg Brennstoff cbm	Aus der Verbrennung hervorgehende Gasmenge, reducirt	
			auf 0° cbm	auf 300° C. cbm
Holz, trocken	4000	9,398	10,078	21,20
Holz, mit 0,3 Wasser . . .	3000	6,554	7,419	15,58
Holzkohle	7000	15,272	15,272	32,09
Lohkuchen, trocken	3400	9,088	9,769	20,47
Lohkuchen, mit 0,2 Wasser	2400	6,306	7,172	15,08
Torf, trocken, bei 0,05 Asche	5300	11,376	11,995	25,23
Torf, mit 0,3 Wasser . . .	3700	7,976	8,780	18,43
Torfkohle, bei 0,2 Asche .	6400	14,222	14,222	29,86
Mittlere Steinkohlen	8000	16,694	17,251	36,29
Koks, mit 0,02 Asche . . .	7900	17,374	17,374	36,54
Koks, mit 0,15 Asche . . .	6800	15,087	15,087	31,73

Es ist von Interesse, in den Tabellen §. 178 und 180 die Abweichungen einzelner Werthe zu vergleichen, welche sich theils aus der Ungleichheit der Brennstoffe, theils aus der Verschiedenheit der von den genannten Autoren den Berechnungen zu Grunde gelegten Hypothesen und Formeln erklären.

§. 181.

Nachtheile und Vortheile der Annässung des Brennmaterials.

Es bedarf kaum der Erwähnung, wie unvortheilhaft es ist, nasses Brennmaterial dem Gewichte nach zu dem üblichen Preise des trockenen

einzukaufen. Bekannt genug ist auch, dass feuchtes Brennmaterial schwer entzündlich ist, und dass z. B. grünes oder in Folge ungeeigneter Lagerung viel hygroskopisches Wasser enthaltendes Holz schlecht brennt und verhältnissmässig wenig Hitze entwickelt. Viel verbreitet ist aber bekanntlich auch der Brauch, fossile Brennstoffe, namentlich Steinkohlen, vor der Verwendung anzunässen, und dieses geschieht oft gerade in der Absicht, den absoluten Heizwerth des Brennmaterials zu erhöhen, indem man die bedeutende Heizkraft des durch Wasserzersetzung entstehenden Wasserstoffgases zu gewinnen glaubt.

Die Unrichtigkeit dieser Auffassung liegt so nahe, dass einige Schriftsteller ihre Verwunderung darüber aussprechen, wie man von der Annässung eine Erhöhung des Nutzeffects erwarten und in theoretischer Beziehung noch in neuerer Zeit diesen Gegenstand discutiren könne. Indessen ist die Sache doch nicht so ausserordentlich einfach, und bei den complicirten Vorgängen des Verbrennungsprocesses ist es möglich, dass die Wasserzersetzung, wenn sie auch keinen grösseren und sogar einen geringeren calorimetrischen Effect veranlasst, doch eine Erhöhung des pyrometrischen Effects im Gefolge hat, und desshalb in manchen Fällen von Nutzen ist. Man darf eben die Begriffe Wärmemenge oder kurzweg Wärme und Temperatur nicht, wie es im gewöhnlichen Leben oft geschieht, verwechseln.

Der Wasserdampf kann durch die glühenden Kohlen in seine Elemente, Wasserstoff und Sauerstoff, zerlegt werden. Dann dient der Sauerstoff zur Verbrennung des Kohlenstoffs und der Wasserstoff brennt als solcher oder dient zur Bildung brennbarer Gase, Kohlenwasserstoffgase. Aber schliesslich ist im besten Falle der aus dem Wasser ausgeschiedene Wasserstoff zu derselben Wassermenge verbunden, die zur Annässung verwendet worden ist, und der Kohlenstoff ist — so mag vorerst angenommen werden — in denselben Verbindungen vorhanden, welche sich direct mit dem Luftsauerstoff gebildet haben würden. Die Resultate der Verbrennung sind also die gleichen, es hat nur ein Austausch der Elemente stattgefunden, durch welchen der Heizwerth, als der calorimetrische Effect, nicht vergrössert werden kann.

Nasses Brennmaterial kann demnach keine grössere Wärmemenge entwickeln als trockenes, häufig aber wird die entwickelte Wärmemenge bei feuchtem Brennmaterial bedeutend geringer sein. Für diese Verminderung sind drei Ursachen vorhanden:

Erstens sind zur Verdampfung von jedem Kilogramm Wasser ungefähr 600 Calorien nöthig, die verloren gehen, wenn die Verbrennungsproducte nicht ausnahmsweise stark für die Benützung abgekühlt werden.

Zweitens wird leicht ein Wärmeverlust dadurch herbeigeführt, dass nicht der gesammte aus der Wasserzersetzung entstehende Wasserstoff wieder zu Wasser verbrennt, sondern frei oder in Kohlenwasserstoffverbindungen unverbrannt entweicht.

Drittens wird durch den bei der Verdampfung entstehenden Wärmeverlust die Temperatur erniedrigt, was unter Umständen unvollkommene Verbrennung, Rauchentwicklung zur Folge haben kann.

Dieser letztere Grund gegen die Annässung ist jedoch von zweifelhafter Bedeutung; denn die gleiche Ursache kann auch unter Umständen zweckförderlich sein. Einerseits entspricht wie oben nachgewiesen, nicht immer der vollkommensten Verbrennung auch der grösste pyrometrische Effect, andererseits ist in gewissem Grade die Abkühlung der Kohlen im Feuerraume in Bezug auf Reduction und Dissociation der Verbrennungsgase für Erreichung einer vollkommeneren Verbrennung dienlich.

Meidinger*) sagt bei Besprechung des Reductionsvorganges:

„Wie Kohlensäure verhält sich auch Wasserdampf beim Durchströmen glühender Kohlen; er wird zersetzt zu Kohlensäure und Wasserstoff unter Bindung beträchtlicher Wärmemenge ($2\,HO + 1\,C = 2\,H + 1\,CO_2$); bei genügend hoher Temperatur kann dann die Kohlensäure unter Bindung neuer Wärme zu Kohlenoxyd reducirt werden. Wasserdampf, der durch glühenden Brennstoff zieht, befördert somit dessen Vergasung und Brennbarkeit."

Man könnte zwar einwenden, dieses beziehe sich nicht auf die Annässung des Brennmaterials, sondern auf die Einführung des fertigen Wasserdampfes in das glühende Brennmaterial; allein die Nutzanwendung für den vorliegenden Fall ist damit nicht ausgeschlossen, sie ist vielmehr naheliegend, wenn die Feuerungsweise eine solche ist, dass der in den unteren Schichten gebildete Dampf als solcher in die oberen glühenden Schichten gelangt.

Demnach lässt sich nicht allgemein mit Sicherheit behaupten, dass die Annässung des Brennmaterials zweckförderlich sei oder nicht; es hängt von den speciellen Zwecken und Einrichtungen ab, und man wird nicht berechtigt sein, die Versicherungen tüchtiger Praktiker, dass sie durch das Annässen der Kohlen grösseren Nutzeffect einer Feuerungsanlage erzielt haben, geradezu als auf Irrthum beruhend zu bezeichnen, wenn auch Täuschungen und Uebertreibungen in dieser Beziehung vorkommen.

Jedenfalls vortheilhaft ist aber in anderen Beziehungen unter

*) Feuerungsstudien S. 23.

manchen Umständen die Annässung, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, was zwar grösstentheils bekannt, doch auch einer Wiederholung werth ist:

1. Sehr kleines, staubförmiges Brennmaterial, trocken auf den Rost geschüttet, fällt grossentheils ungenützt durch die Rostspalten, angenässt dagegen nicht.

2. Sehr kleines Brennmaterial liegt, wenn es nicht backende Eigenschaften hat, dauernd so dicht, dass es der Luft den für eine richtige Verbrennung nöthigen Durchfluss nicht gestattet; durch das Annässen wird die staubförmige Masse plastisch, liegt lockerer und mit Zwischenräumen über dem Rost.

3. Staubförmiges Brennmaterial kann durch starken Luftzug in die Feuerkanäle und den Schornstein gerissen werden, was durch Annässen verhindert wird.

4. Grössere Stücke wasserstoffarmer Brennmaterialien werden durch die Dampfbildung des eingeschlossenen Wassers in zweckdienlicher Weise zerklüftet.

5. Durch das Annässen kann die Zeit, in welcher ein gewisses Quantum Brennmaterial consumirt wird, unter sonst gleichen Umständen verlängert, dadurch die Heizung mehr verzögert und gemässigt werden, was zuweilen, namentlich für häusliche Feuerungen erwünscht ist.

6. Das lästige Stäuben des Brennmaterials wird durch das Annässen verhindert.

Man ist geneigt, in Hinsicht auf den 6. Rechtfertigungsgrund des Annässens, das Stäuben nicht nur als lästig, sondern auch als nachtheilig für die Gesundheit zu bezeichnen. Im Abschnitt über Luftverderbniss ist (S. 276) die mögliche Gefährlichkeit scharfkantiger Kohlentheilchen für die zarten Lungengefässe ausgesprochen. Dieser Befürchtung gegenüber ist folgender Artikel aus der Wochenschrift des Vereins deutscher Ingenieure (1879 Nr. 37 S. 348) von Wichtigkeit, wonach das Einathmen von Kohlenstaub den Lungen nicht schädlich, sondern sogar heilsam zu sein scheint:

„Dass das Einathmen von Kohlenstaub den Lungen schädlich sei, wird durch statistische Aufzeichnungen von Hirt nicht bestätigt. Nach diesen litten an Lungentuberculose von je 1000 erkrankten Arbeitern:

260, welche der Einathmung von anorganischem Staub ausgesetzt waren,

170, welche organischen Staub einathmen mussten,

110, deren Beschäftigung das Einathmen von Staub überhaupt nicht bedingte, und nur

13, welche gezwungen waren, Kohlenstaub einzuathmen.

Danach scheint der Kohlenstaub fast geeignet, die Entwickelung der Lungenschwindsucht zu verhüten oder wenigstens zurückzuhalten, wie denn auch hier und da von ärztlicher Seite schon Kohlenstaub-Inhalationen verordnet worden sind."

§. 182.

Bemerkungen über Rauchverbrennung.

Mit Recht betrachtet man die gewöhnliche starke Rauchentwickelung bei Steinkohlenfeuerungen, und als Folge davon die Verbreitung von Russflocken in der Luft als einen Uebelstand, welchem die Technik entgegenarbeiten muss. Dieses gilt namentlich für grosse Städte mit zahlreichen Fabriken. Man ist desshalb auch seit sehr langer Zeit bestrebt, den Rauch zu beseitigen, und in England bestehen gesetzliche Verpflichtungen hiefür.

Bis zum Jahre 1830 etwa waren die Bestrebungen in dieser Richtung auch meistens nur auf Verhütung der Rauchentströmung aus den Fabrikschornsteinen gerichtet, und in dieser Absicht suchte man die Aufgabe der rauchlosen Verbrennung zu lösen; erst später verband sich damit mehr das Streben, durch Rauchverzehrung ökonomische Vortheile zu erreichen.

In neuerer Zeit wird häufig nur die Nützlichkeit der Rauchverbrennung hervorgehoben, indem man darin ein Sparmittel für das Brennmaterial erkennen will, und man bringt zu diesem Zwecke bei neuen und alten häuslichen Feuerungsanlagen, Oefen und Kochherden, rauchverzehrende Einrichtungen an.

Die Meinung, dass der Werth einer Feuerungsanlage, bei welcher die Verbrennungsproducte dem Schornstein kaum sichtbar entsteigen, bedeutend grösser sei, als einer gleichartigen, bei welcher oft eine Rauchsäule gesehen wird, ist viel verbreitet und sie liegt nahe, wenn man weiss, dass die sichtbaren Theilchen des Rauches mit Ausnahme der Wassertheilchen des sich condensirenden Dampfes brennbar sind.

Eine gerade entgegengesetzte Ansicht hat der Franzose Burnat noch im Jahre 1863 veröffentlicht, nämlich die, dass die Dampferzeugung um so ökonomischer werde, je häufiger und dunkler der Rauch dem Schornstein entströme.

Keine dieser Ansichten ist als unbedingt richtig anzuerkennen. Das Streben der Feuerungstechnik muss auch aus Nützlichkeitsgründen

darauf gerichtet sein, dass die Luftzuführung einer vollkommenen Verbrennung entspreche, also die Rauchbildung vermieden werde. Da aber, wie oben nachgewiesen, eine vollkommene Verbrennung nur mit grossem Luftüberschuss zu erreichen ist, und da durch diesen Luftüberschuss der pyrometrische Effect vermindert wird, so ist für viele Zwecke die unvollkommene Verbrennung, sogar mit Entstehung bedeutender Rauchmassen, der vollkommenen Verbrennung vorzuziehen.

Ja man darf behaupten, dass die Rauchverbrennung, wie sie bei häuslichen Feuerungen in der Regel erreicht wird, sehr unökonomisch ist. Es wird dabei so viel Luft in den Feuerraum geführt, dass die Temperatur der Heizgase eine verhältnissmässig niedrige und die Ausnützung der Wärme eine geringe wird.

Häufig geschieht die Lufteinführung hinter oder über dem Brennmaterial an einer Stelle, wo man eine nachträgliche Verbrennung des Rauches erwartet. Das Hauptresultat solcher Luftzuführung ist eine Verminderung der Sichtbarkeit des Rauches, eine Täuschung, indem die sichtbaren Rauchtheilchen nur in einer grösseren Luftmenge vertheilt werden. Zudem ist die Unsichtbarkeit der Verbrennungsproducte kein Beweis für die Vollkommenheit der Verbrennung, da auch die brennbaren, aber nicht oder unvollkommen verbrannten Gase — freier Wasserstoff, Kohlenwasserstoffverbindungen, Kohlenoxydgas — unsichtbar sind. Die nachträgliche Verbrennung der Destillations- und Reductionsgase erfolgt nicht leicht; denn sollte auch die entsprechende Verbrennungstemperatur vorhanden sein, so sind doch in der grossen Menge der unbrennbaren Gase: Stickstoffgas, Kohlensäuregas, Wassergas — die Sauerstoffatome so sehr vertheilt, dass ein Zusammenfinden zu chemischer Verbindung dieser mit den brennbaren aber noch nicht verbrannten Atomen trotz der Diffusion der Gase als eine nur theilweise erfolgende Zufälligkeit betrachtet werden muss.

Aus allen diesen Erwägungen geht zur Genüge hervor, dass auf die zuweilen hoch angepriesenen, auch neuesten und patentirten Einrichtungen für die Rauchverbrennung, wenigstens bei häuslichen Feuerungen, in Bezug auf Brennstoffökonomie wenig Werth zu legen ist.

Indessen sind Einrichtungen dieser Art schon dann zu loben, wenn sie zur Erhaltung einer russfreieren Atmosphäre beitragen; denn jedenfalls ist die russige Luft grosser Städte in mancherlei Beziehungen ein Uebelstand. Wie weit dieses in gesundheitlicher Beziehung gilt, ist noch nicht constatirt. Zwar wird reine Luft einer irgendwie verunreinigten im Allgemeinen vorzuziehen sein. Wenn aber Inhalationen von Kohlenstaub unter Umständen sogar heilsam sein sollen (§. 181), wie

man es schon länger von Holztheer-Dämpfen weiss, so dürfte eine sehr schädliche Einwirkung russiger Luft auf die Lungen kaum zu befürchten sein. Es wäre von Interesse, statistische Nachweise über die gesundheitlichen Verhältnisse und durchschnittliche Lebensdauer der Schornsteinfeger zu erhalten. Ich habe noch nicht gehört oder gelesen, dass Schornsteinfeger in Folge ihres Gewerbes kränklich werden und nicht lange leben.

Bei Verwendung von Steinkohlen sind diejenigen Feuerungsanlagen für die Rauchverbrennung vorzugsweise dienlich, bei welchen die Verbrennung in entgegengesetzter Richtung des Luftzugs fortschreitet, und dieses ist ohne complicirte Vorrichtungen gut durchzuführen, wo eine wiederholte Aufschüttung nicht nothwendig ist. Das wirksamste Mittel gegen die Verunreinigung der Atmosphäre durch Rauch und Russ wäre die allgemeine Einführung von Koksfeuerungen anstatt der Steinkohlenfeuerungen.

§. 183.

Berücksichtigung der durch Beleuchtungsflammen entwickelten Wärme.

Für die Berechnung des Wärmeeffects von Gasflammen dürfen die nach Favre und Silbermann S. 513, 514 angegebenen calorimetrischen Werthe, welche sich auf die Abkühlung der Verbrennungsproducte mit Wasserbildung beziehen, nicht unmittelbar in Anwendung kommen, sondern die auf S. 515 u. 516 angegebenen corrigirten Werthe für die Verbrennung zu luftförmigen Verbrennungsproducten, also

für 1 kg Wasserstoff H zu Wasserdampf 29062 Calorien
„ 1 „ Sumpfgas $C_2 H_4$ zu
Kohlensäure und Wasserdampf 11713 „
„ 1 „ ölbildendes Gas $C_4 H_4$ zu
Kohlensäure und Wasserdampf 11087 „

Somit ist der Wärmeeffect W eines Gasgemenges, welches enthält:

H kg Wasserstoffgas,
$C_2 H_4$ „ Sumpfgas,
$C_4 H_4$ „ ölbildendes Gas und
CO „ Kohlenoxydgas:

$$W = 29062\, H + 11713\, C_2 H_4 + 11087\, C_4 H_4 + 2403\, CO.$$

Beimengungen von Stickstoff, Kohlensäure und Wasserdampf kommen dabei, weil unbrennbar, nicht in Berücksichtigung.

Für 1 kg Leuchtgas von der in §. 177 angegebenen Zusammensetzung ist der Wärmeeffect:

$W = 29062 \,.\, 0{,}05 + 11713 \,.\, 0{,}54 + 11087 \,.\, 0{,}18 + 2403 \,.\, 0{,}15$

$W = 1453{,}10 + 6325{,}02 + 1995{,}66 + 360{,}45$

$W = 10134$ Calorien.

Das specifische Gewicht dieses Leuchtgases kann (nach S. 29) zu 0,5 und das Gewicht von einem Liter desselben zu 0,00065 kg angenommen werden. Dann berechnet sich der Wärmeeffect von einem Liter Leuchtgas zu

$$0{,}00065 \,.\, 10134 = 6{,}587 \text{ oder rund}$$
$$W = 6{,}6 \text{ Calorien.}$$

Man findet hiefür in anderen Schriften 6,02 bis 8,06 angegeben, was theils aus der verschiedenen Zusammensetzung des Leuchtgases, theils aus abweichender Berechnungsweise, namentlich bei den grösseren Angaben aus der irrthümlichen unmittelbaren Benützung der von Favre und Silbermann angegebenen Werthe zu erklären ist.

In Folge der mitunter unvollkommenen Verbrennung werden die Wärmeeffecte zwischen 6 und 7 schwanken, und man wird, um bei einer speciellen Anlage sicherer zu gehen, zweckmässig bei Heizungseinrichtungen nur 6, dagegen bei Abkühlungseinrichtungen 7 Calorien als Wärmeeffect von einem Liter Leuchtgas annehmen.

Uebrigens müssen Heizungseinrichtungen, die auch ohne Beleuchtungsflammen zu benützen sind, wie es gewöhnlich der Fall ist, ohne diese Flammenwärme ausreichen, also ohne Rücksicht auf solche berechnet werden. Von grösserer Wichtigkeit sind die vorliegenden Angaben für Luftkühlungseinrichtungen, bei welchen man also besser die grösseren Werthe in Rechnung bringt.

Nach Redtenbacher consumirt gewöhnlich eine Gasflamme in der Stunde $^1/_{10}$ cbcm = 100 Liter Gas; dann wären für eine Gasflamme stündlich 600 bis 700 Calorien zu rechnen. Nach S. 273 dieses Buches ist der stündliche Gasverbrauch bei einem Flachbrenner 127 und bei einem Schnittbrenner sogar 140 Liter, so dass der stündliche Wärmeeffect eines grossen Brenners bei starkem Gasdruck bis gegen 1000 Calorien wachsen kann.

Es wird selten vorkommen, dass man anderes Leuchtmaterial als Gas in Bezug auf Wärmeentwicklung zu berücksichtigen hat, in einzelnen Fällen vielleicht noch Petroleum. Auf S. 273 ist bereits angegeben, wie viel Gramm Petroleum durch einen Spaltbrenner und Rundbrenner stündlich consumirt werden, nämlich 35,5 und 50,5 Gramm. Es ist hier beizufügen, dass 1 Gramm Petroleum bei der Verbrennung 11,77 Calorien

entwickelt, wonach als stündlicher Wärmeeffect einer Petroleumflamme 418 bis 594 Calorien, oder zu grösserer Sicherheit bei Abkühlungsvorrichtungen rund 600 Calorien in Rechnung gebracht werden könnten.

Für jeden Sonderfall ist jedoch zu untersuchen, in welcher Weise die Flammenwärme zur Erwärmung des Raumes beitragen wird. Dieses ist von der Vertheilung und namentlich von der Höhe der Flammen im Raume abhängig, sowie auch von der Art der Luftführung bei dem zur Anwendung kommenden Ventilationssystem. Wo sich die Flammen in geringer Höhe über dem Fussboden befinden, also auch überhaupt bei nicht hohen Räumen, sowie bei der Luftführung von oben nach unten ist die Erwärmung der unteren Raumtheile durch die Flammen bedeutender als bei hohen Räumen, wo die Flammen ebenfalls hoch, etwa auf Kronleuchtern angebracht und wo über diesen Luftabführungsrosetten u. dgl. vorhanden sind oder überhaupt die Luftführung von unten nach oben bewerkstelligt wird. Im letzteren Falle ist zuweilen durch eine Vergrösserung der Flammenzahl ein grösserer Umfang künstlicher Luftkühlungsvorrichtungen keineswegs bedingt, im Gegentheil, es kann eine mehr beschränkte Anwendung von Kühlapparaten wegen des durch die Flammenwärme gesteigerten Luftwechsels zulässig werden.

§. 184.

Berücksichtigung der Lebenswärme.

Die Körperwärme lebender Menschen und Thiere, die Lebenswärme oder thierische Wärme, ist als Folgeerscheinung des Stoffwechsels, also chemischer Processe, welche im Körper vor sich gehen, aufsufassen. Diese Ansicht hat schon Lavoisier*) ausgesprochen. Da aber die von ihm und später von anderen Gelehrten berechneten Wärmemengen mit denen der Versuche nicht genügend übereinstimmten, hat man wiederholt andere Erklärungsweisen der Körperwärme ersonnen, doch ohne besseren oder nur gleich guten Erfolg. Regnault**), gewiss einer der grössten, wenn nicht der grösste Physiker der Neuzeit, schloss sich der Ansicht an, dass die thierische Wärme gänzlich durch die chemischen Vorgänge im Organismus hervorgerufen werde, bezweifelte aber, ob es bei der verwickelten Natur der Erscheinungen und bei der

*) Lavoisier lebte von 1743 bis 1794.

**) Heinrich Victor Regnault, geboren am 21. Juli 1810 in Aachen, gestorben am 19. Januar 1878 in Paris.

Menge unbekannter Grössen je gelingen werde, dieselben dem exacten Calcul zu unterwerfen.

Die Hauptquelle der Lebenswärme ist der Athmungsprocess. Athmen oder Respiration ist derjenige Act, vermittels dessen das Blut mit dem Sauerstoff der atmosphärischen Luft in Berührung gebracht wird. Der Apparat, worin die nöthige Annäherung zwischen Luft und Blut erfolgt, ist bei dem Menschen, wie bei den höheren Thierklassen, die Lunge, deren feine Verzweigungen durch eine so dünne Membrane von der in den Lungenzellen enthaltenen Luft getrennt sind, dass die Diffusion leicht erfolgen kann.

Jedoch ist nicht, wie Lavoisier angenommen hatte, die Lunge der alleinige Herd der Oxydation. Nach Lagrange's Respirationstheorie, welche im Wesentlichen von den meisten Physiologen für richtig gehalten wird, ist der Sauerstoff der eingeathmeten Luft anfangs nur lose vom Blute gebunden und vereinigt sich erst während des Laufes des arteriellen Blutes (in welches das venöse Blut durch den Austausch von Kohlensäure gegen Sauerstoff verwandelt wird) durch die verschiedenen Organe, deren Thätigkeit es unterhält, innig unter Wärmeentwickelung mit dem Kohlenstoff des Blutes zu Kohlensäure, die dann vom Blute verschluckt bleibt, bis es wieder in die Lunge gelangt, wo es diese Kohlensäure ausscheidet und wieder Sauerstoff aufnimmt. Die so im Blute entwickelte Wärme wird auch den Muskeln mitgetheilt und bewirkt theils Erhöhung, beziehungsweise Erhaltung der Temperatur derselben, theils wird sie bei Anstrengung der Muskeln in Arbeit umgewandelt. Durch die Muskelarbeit wird, wie die tägliche Erfahrung zeigt, keine Abkühlung des Körpers herbeigeführt. Dieses widerspricht der mechanischen Wärmetheorie keineswegs; denn bei gesteigerter Muskelthätigkeit nimmt auch die Lebhaftigkeit des Respirationsprocesses zu.

Alle Körpertheile, in welche arterielles Blut und damit der in der Respiration aufgenommene Sauerstoff gelangen kann, haben eine nur innerhalb enger Grenzen schwankende Temperatur. Die mittlere Körpertemperatur ist bei erwachsenen Menschen 37 bis 38° C., bei Kindern mehr, etwa 39°. Angaben bedeutend hiervon abweichender Beobachtungen dürften aus mangelhafter Beschaffenheit der Thermometer, theilweise auch aus der Ungenauigkeit der Ablesungen und zu kurzer Beobachtungsdauer zu erklären sein. Man bestimmt meistens die Körpertemperatur mittels eines Thermometers, dessen Kugel oder Blase unter die Zunge gebracht und so lange da gelassen wird, bis die Temperaturangabe constant ist. Es ist rathsam, auch bei Anwendung empfindlicher

Thermometer die Beobachtung auf wenigstens 10 Minuten auszudehnen. Ich habe auf diese Weise meine eigene Temperatur oft gemessen und 37,6 bis 38° C. gefunden. Das hiezu benützte Thermometer, eines von drei sehr gut übereinstimmenden, war zuverlässig, und um sicher rechtwinkelig abzulesen, habe ich hinter der mit Scala versehenen Thermometerröhre parallel mit dieser ein Spiegelstück befestigt und in einem grösseren Spiegel abgelesen, wobei ich das Spiegelbild meines ablesenden Auges mit dem Ende des Quecksilberfadens zusammenfallen liess.

Bei den Säugethieren schwankt die Körpertemperatur zwischen 37 und 40°, bei den Vögeln zwischen 41 und 44° C.

Will man die von einem Menschen durch den Lebensprocess entwickelte Wärme berechnen, so wird diese annähernd proportional dem aufgenommenen Sauerstoff zu setzen sein, aber nicht für eine beliebige Zeit, etwa innerhalb einer Stunde, sondern in einem Zeitraum von 24 Stunden, weil in den einzelnen Stunden des Tages und der Nacht trotz der fast gleichmässigen Wärmeabgabe die Sauerstoffaufnahme grosse Differenzen aufweist, wie weiterhin genauer angegeben wird.

Die Menge des in 24 Stunden aufgenommenen Sauerstoffs beträgt nach Versuchen von Andral und Gavarret bei Erwachsenen von 20 bis 40 Jahren im Mittel ungefähr 914 Gramm = 0,914 Kilogramm, und dieses Gewicht ist mit dem Wärmewerth des Sauerstoffs zu multipliciren.

Welcher Wärmewerth für 1 kg des absorbirten Sauerstoffs in Rechnung zu bringen ist, lässt sich theoretisch nicht bestimmen. Kennt man auch für gewisse Umstände und Individuen das Verhältniss, nach welchem sich der verbrauchte Sauerstoff der eingeathmeten Luft auf die Bildung von Kohlensäure und Wasser vertheilt, und ist es auch unzweifelhaft, dass die Grösse der Wärmeentwicklung von der Complicirtheit der chemischen Processe im Innern des Körpers unabhängig ist und nur von dem Anfangs- und Endzustande abhängt, dass also die gesammte Lebenswärme derjenigen Wärmemenge gleich sein muss, welche durch directe Verbrennung der aufgenommenen Nahrungsmittel zu den letzten Producten des Ernährungsprocesses, zu Kohlensäure, Wasser und Ammoniak entwickelt würde; so sind doch mancherlei Vorgänge und Umstände von zu grossem Einfluss auf die Berechnung, als dass sie unberücksichtigt bleiben dürften; aber es fehlt zur Zeit noch die Kenntniss ihrer numerischen Grösse. Man weiss nicht, in welcher Dichtigkeit die Grundstoffe, Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Sauerstoff, in den Nahrungsmitteln enthalten und wie innig sie verbunden sind, man kennt auch zu

wenig die Grösse des Wärmeantheils, welcher für die Muskelthätigkeit in Arbeit umgesetzt wird.

Dass der fragliche Wärmewerth des Sauerstoffs innerhalb der Grenzen der im §. 178 aufgestellten Werthe 3030 und 4308 Calorien liegen müsse, wird man vermuthen, aber nicht geradezu behaupten dürfen. Nur Versuche können hier näheren Aufschluss geben.

Ausgedehnte Versuche hat Hirn angestellt. In der neuesten Auflage seines schätzbaren Werkes über die mechanische Wärmetheorie *) sind unter Anderem folgende Mittheilungen enthalten, welche, wenn auch die Richtigkeit der Hirn'schen Rechnungsresultate in Zweifel gezogen werden muss, doch eine sehr willkommene Grundlage für die Bestimmung des Einflusses der Lebenswärme auf die Temperaturerhöhung der Körperumgebung bieten.

Bei einer Reihe von Versuchen unterzogen sich fünf Personen, deren Körperbeschaffenheit und Alter sehr verschieden war, den Beobachtungen, nämlich: Eine Jungfrau von 18 Jahren, ein Jüngling von 20 und drei Männer von 35 bis 42 Jahren. Hirn ermittelte dabei das Resultat, dass für jedes Gramm des beim Athmen verbrauchten Sauerstoffs ungefähr 5,22 Calorien auf die Umgebung übergingen; die äussersten Abweichungen von diesem Mittelwerthe waren so gering, 5,18 bis 5,23, dass er fernerhin den Werth 5,22 seinen Berechnungen zu Grund legte. Danach würde einem Kilogramm absorbirten Sauerstoffs die an die Umgebung des Körpers übergehende Wärmemenge 5220 Calorien entsprechen. Diese Zahl ist überraschend gross, und sie ist in Wirklichkeit zu gross. Wie aus Hirn's eigenen Mittheilungen über die Art und Weise der Ausführung seiner Experimente und Berechnungen hervorgeht, hat er den calorimetrischen Effect des Wasserstoffgases, dessen Verbrennungswärme ihm zur Vergleichung mit der abgegebenen Körperwärme gedient hat, bei der Dampfbildung zu 34 462 Calorien angenommen, anstatt zu 29 062 Calorien. Diesem Irrthum begegnet man auch in den Werken anderer hervorragender Schriftsteller bei Berechnungen von Wärmeeffecten.

Bezeichnet man mit x die vorläufig nur mit Rücksicht auf Vorstehendes corrigirte Zahl, so ist diese durch die Proportion bestimmt:

$$34\,462 : 29\,062 = 5220 : x$$

Daraus erhält man

$$x = \frac{29\,062}{34\,462} \cdot 5220 = 0{,}843 \cdot 5220$$

$$x = 4400 \text{ Calorien.}$$

*) G. A. Hirn, Théorie mechanique de la chaleur. Paris 1875. 3. Édition, Tome I, Pag. 38.

Da ferner Hirn die erwähnten Experimente vermuthlich nicht zur Nachtzeit, sondern bei Tage angestellt hat, und da nach Pettenkofer und Voit von dem ruhenden Menschen in 12 Tagesstunden 33%, in den übrigen 12 Nachtstunden 67% des gesammten in 24 Stunden aufgenommenen Sauerstoffs absorbirt werden, während sich die Kohlensäureausscheidung nahezu umgekehrt verhält, so wird der in einer Tagesstunde aufgenommenen Sauerstoffmenge eine viel grössere als die durchschnittlich entwickelte Wärmemenge entsprechen, und für die Berechnung der letzteren wird der obige theilweise corrigirte Hirn'sche Werth weiter auf etwa 75 Procent zu reduciren sein, wonach man erhält

$$4400 \,.\, 0{,}75 = 3300 \text{ Calorien.}$$

Dieser Werth hat auch nach §. 178 grosse Wahrscheinlichkeit für sich, und nach obiger Darlegung ist seine praktische Zulässigkeit ausser Zweifel gestellt. Es entspricht also durchschnittlich einem Kilogramm des bei der Respiration absorbirten und verbrauchten Sauerstoffs die nutzbare Wärmemenge

3300 Calorien.

Ein Abzug wegen Verdampfung des Perspirationswassers ist, wie aus der Hirn'schen Beobachtungsweise hervorgeht, nicht zu machen.

Danach lässt sich nun die durchschnittliche Wärmeabgabe bei Personen von verschiedener Körperbeschaffenheit und verschiedenem Alter berechnen, wenn man die durchschnittliche Sauerstoffabsorption kennt. Ich stelle nach den von Andral und Gavarret gefundenen und auch von Valentin angegebenen Sauerstoffmengen folgende Tabelle mit etwas abgerundeten Calorienwerthen auf.

Sauerstoffabsorption und Wärmeabgabe im ruhigen Zustande.

Alter des Individuums	Mittleres Körpergewicht	Absorbirter Sauerstoff		Nutzbar abgegebene Wärmemenge in einer Stunde
		in 24 Stunden	in 1 Stunde	
Jahre	Kilogramm	Gramm	Gramm	Calorien
8	22,26	374,704	15,613	52
15	46,41	651,984	27,166	90
18 bis 20	61,26 bis 65,0	854,324	35,599	117
20 bis 40	65,0 bis 68,8	914,280	38,094	125
40 bis 60	68,8 bis 65,5	756,888	31,537	104
60 bis 80	65,5 bis 61,2	689,448	28,727	95

Das grösste in dieser Tabelle angegebene Körpergewicht ist 68,8 kg. Da aber viel grössere Körpergewichte vorkommen und die Sauerstoffaufnahme in gewisser Beziehung, wenn auch nicht in geradem Verhältniss zum Körpergewicht steht, so werden die abgegebenen Wärmemengen zuweilen grösser als 125 Calorien in der Stunde sein.

In Gehler's physikalischem Wörterbuch (1. Band S. 422) findet sich im Bezug auf den Sauerstoffverbrauch eine Zusammenstellung der Angaben älterer Physiker, und zwar in französischen Grangewichten. Nach demselben Werke (6. Band S. 1380) besteht die Relation:

1 französisches Pfund = 5760 Gran
= 375 Gramm;

also ist 1 französisches Gran $= \frac{375}{5760} = 0{,}0651$ Gramm.

Danach habe ich die angegebenen Grangewichte auf die folgenden Grammgewichte reducirt.

Ein erwachsener Mann verbraucht an Sauerstoff in 24 Stunden:

nach Lavoisier und Seguin	15661	Gran	= 1020	Gramm
„ Menzies	17625	„	= 1147	„
„ Davy	15751	„	= 1025	„
„ Allen und Pepys . .	13464	„	= 877	„

Nach den drei ersten Angaben würde die stündliche Wärmeabgabe bei Erwachsenen über 125 Calorien steigen, nach der zweiten Angabe sogar über 150 Calorien.

Im Zustande der Bewegung ist die Wärmeabgabe in Folge der Beschleunigung der Respiration und des Stoffwechsels grösser, trotz der Umsetzung eines Theiles der Körperwärme in Arbeit.

Wenn nun nach Obigem die Lebenswärme für eine Anzahl von Personen in einem Raume annähernd berechnet werden kann, so ist ferner bei Heizungs- und Ventilationsanlagen zu beachten, dass eine gleiche Menge von Lebenswärme nicht immer in gleicher Weise zur Temperaturerhöhung in einem Raume beiträgt; die speciellen Benützungsverhältnisse sind hiebei von Einfluss. Grösser ist die Temperaturerhöhung bei der Luftführung von oben nach unten, als von unten nach oben, im letzteren Falle grösser die, welche durch Personen in den unteren Theilen des Raumes bewirkt wird als von jenen in den oberen Theilen, wie auf den Galerien von Sälen, Theatern u. dgl.

Endlich ist es auch von Wichtigkeit zu berücksichtigen, in welcher Weise die Körperwärme an die Umgebung übergeht. Dieses geschieht in dreifacher Weise. Ein Theil der producirten Wärme gelangt in die

Luft durch Verbreitung der Respirationsproducte in derselben, ein zweiter Theil dadurch, dass die den Körper und dessen Bekleidung berührende Luft durch Leitung Wärme aufnimmt, der übrige Theil durch Ausstrahlung der Wärme an die den Körper umgebenden Gegenstände.

Durch den ersten dieser Vorgänge wird die Luft zugleich auch verunreinigt; doch ist die dabei stattfindende Lufterwärmung verhältnissmässig gering, wohl geringer als man sich diese vorzustellen pflegt. Eine annähernde Berechnung ist beispielsweise folgende: Ein Erwachsener athmet in einer Stunde ungefähr $\frac{1}{2}$ cbm oder 0,57 kg Luft von 37° C aus, und wenn diese um 20° abgekühlt wird, verliert sie $0{,}57 \cdot 20 \cdot 0{,}24 = 2{,}75$ Calorien.

Die Dämpfe des perspirirten Wassers veranlassen zwar geringe Luftverunreinigung, aber keine Temperaturerhöhung, weil dieses Wasser mit Wärmeaufwand in Dampf von der Temperatur der Umgebung verwandelt wird. Auf die durch Leitung und Strahlung erfolgende Erwärmung der Umgebung im Zustande der Ruhe treffen demnach bei einem Erwachsenen stündlich

$$125 - 2{,}75 = 122{,}25 \text{ Calorien.}$$

Bei der Grösse der Körperfläche eines Erwachsenen (ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ qm) vertheilt sich diese Wärmemenge auf eine verhältnissmässig grosse Menge von Luft und Flächen bestrahlter Gegenstände mit geringer Temperaturerhöhung, während die kleinere Menge der ausgeathmeten Luft mit ihrer Wärmemenge 2,75 Calorien und der Temperatur 37° C., bevor sie eine vollständige Vertheilung und Abkühlung erleidet, rasch emporgehoben wird. Immerhin ist die Vertheilung und Abkühlung dabei nicht unbedeutend, indem mehrere Umstände darauf einwirken, als das grosse specifische Gewicht der Kohlensäure, die Diffusion der Gase und zufällige Luftbewegungen in verschiedenen Richtungen.

Solche Rücksichtnahmen müssen zum Theil massgebend sein, wo die Frage vorliegt, ob in einem gegebenen Falle der Ventilation die aufwärts oder abwärts gerichtete Luftführung vorzuziehen ist. Die Beantwortung dieser Frage ist aber auch davon abhängig, ob die Luft des Raumes erwärmt oder gekühlt werden soll, und von anderen besonderen Verhältnissen, wie an anderen Stellen dieses Buches gezeigt wird.

Emission und Transmission der Wärme.

§. 185.

Allgemeine Erklärungen.
Das Newton'sche Gesetz des Wärmeübergangs.

Wenngleich man nach den vorausgegangenen Angaben zu berechnen im Stande ist, welche Wärmemenge durch Verbrennung einer gewissen Menge eines Brennmaterials in einem Ofen erzeugt werden kann, ferner, wie viele Wärmeeinheiten durch Beleuchtungsflammen und durch die Lebensthätigkeit in einem Raume entwickelt werden, ebenso nach früheren Mittheilungen, wie viel Dampf oder heisses Wasser von bestimmter Temperatur, wie viel Eis oder kaltes Wasser nothwendig sein würde, um bei Vermeidung aller Verluste ein gewisses Luftquantum auf eine bestimmte Temperatur zu erwärmen oder zu kühlen; so geben doch jene Rechnungsresultate keinen Aufschluss darüber, welche Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur in einem Raume durch die genannten Mittel zu erreichen ist. Dieses hängt in Bezug auf Heizung unter Anderem wesentlich davon ab, welche Wärmemenge in der Zeiteinheit von dem Heizkörper an die ihn umgebenden kälteren Luftmassen und andere Gegenstände übergeht, und ferner davon, wie viel Wärme in der Zeiteinheit von der erwärmten Luft an die von ihr berührten kälteren Gegenstände des zu heizenden Raumes wieder abgegeben und wie viel durch die Umgrenzungskörper des Raumes an die äussere kalte Luft und die weitere Umgebung übergeführt, also verloren wird.

Diese Vorgänge erfolgen nach bestimmten Naturgesetzen, welche man als Gesetze der Emission und Transmission der Wärme bezeichnet.

Emission der Wärme ist die Abgabe, das Uebergehen derselben von der Oberfläche warmer Körper an die kältere Umgebung, als welche man entweder nur wieder feste Körper zu berücksichtigen hat, nämlich bei der Wärmeemission im leeren Raume, oder, wie immer in den hier zu behandelnden Fällen, auch das kältere Medium, als Wasser, Luft, oder irgend eine andere wasser- oder luftförmige Flüssigkeit.

Transmission der Wärme dagegen ist die Ueberführung durch die Körper hindurch von der wärmeren Oberfläche nach der gegenüberliegenden kälteren, also bei Berechnung der Wärmeverluste in geheizten Räumen namentlich die Fortpflanzung der Wärme von den inneren Flächen der Mauern und Fenster nach den äusseren, an welchen die Emission stattfindet.

Nach dem Newton'schen Gesetz der Wärmeüberführung wäre die in der Zeiteinheit von einem warmen Körper an kältere Luft übergehende Wärmemenge einfach proportional dem Ueberschuss der Temperatur des Körpers über jene der Luft, sie wäre also durch die einfache Formel dargestellt:

$$M = k\,(T - t) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1$$

wobei M die in der Zeiteinheit übergehende Wärmemenge, k einen nur mit der Natur des Körpers veränderlichen Versuchscoëfficienten, T die Temperatur des emittirenden Körpers und t die Temperatur der kälteren Luft bezeichnet.

Dieses Gesetz liefert unter gewissen Umständen anwendbare Näherungswerthe, ist jedoch nicht so genau, dass man es in allen Fällen unbedenklich in Anwendung bringen darf. Die Geschwindigkeit des Wärmeübergangs und folglich die in der Zeiteinheit übergehende Wärmemenge ist von verschiedenen Umständen abhängig und desshalb mehr veränderlich als der obige Coëfficient k ausdrückt. Der folgende Paragraph soll dieses näher darlegen.

In der Praxis handelt es sich gewöhnlich um Wärmelieferung und Wärmeverluste bei constanter Temperatur der transmittirenden Körper und emittirenden Flächen. Bei experimentellen Untersuchungen in dieser Richtung, etwa mit Gefässen, welche mit heissem Wasser gefüllt sind, kann man ebenso gut die Grösse der Abkühlung nach Graden in gewissen Zeiten, oder die für bestimmte geringe Abkühlung erforderlichen Zeiten als massgebend ansehen. Man darf annehmen, dass, während die Temperatur eines Körpers von T^0 auf $(T - 1)^0$ sinkt, die gleiche Wärmemenge aus demselben entweicht, welche bei derselben kälteren Umgebung und in derselben Zeit auch entweichen müsste, wenn der Körper auf der constanten Temperatur $(T - {}^1\!/_2)^0$ erhalten würde, also auf dem arithmetischen Mittel der Temperaturen T und $(T - 1)$; man hat allgemein

$$\frac{T + (T - n)}{2} = T - \frac{n}{2}$$

Bei der Abkühlung um 2^0 kann man ebenso die mittlere Temperatur setzen $(T - 1)^0$; bei einer Abkühlung um viele Grade jedoch würde, wie aus dem Folgenden klar werden wird, die Einführung des arithmetischen Temperaturmittels ungenaue Resultate veranlassen.

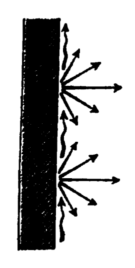
§. 186.

Die Emissions-Vorgänge.

Von Wichtigkeit ist für die Zwecke dieses Buches die Emission der Wärme von Oberflächen, welche in constanter Temperatur erhalten werden und von Luft berührt sind.

Die in §. 50 und 51 erklärten Fortpflanzungsweisen der Wärme treten hier vereinigt auf (Fig. 201). Der wärmere Körper entsendet Wärmestrahlen durch die Luft an die kältere Umgebung und zugleich überträgt er Wärme auf die ihn berührenden Lufttheilchen durch Leitung.

Fig. 201.



Die durch Strahlung aus der Flächeneinheit in der Zeiteinheit emittirte Wärmemenge ist, wenn die strahlende Fläche in gleichmässiger Temperatur erhalten wird, und wenn nicht Vertiefungen und Vorsprünge vorhanden sind, deren Theile sich gegenseitig bestrahlen, unabhängig von der Form und Grösse des Körpers; sie hängt aber ab von der Natur der Oberfläche, von dem Ueberschuss der Temperatur der strahlenden Fläche über jene der sie umgebenden Körper und von der absoluten Höhe der Temperatur der Umgebung.

Die durch Leitung an die den warmen Körper berührenden kälteren Lufttheilchen abgegebene Wärme macht diese specifisch leichter und veranlasst so eine Strömung der den warmen Körper umgebenden Luftmassen.

Je grösser die Höhe des warmen Körpers ist — sonst gleiche Formen und Verhältnisse vorausgesetzt — desto rascher muss die Luftströmung erfolgen, desto mehr kalte Lufttheilchen kommen in der Zeiteinheit mit dem warmen Körper in Berührung, desto mehr Wärme könnte ihm auf diese Weise entzogen werden. Dagegen ist aber auch zu berücksichtigen, dass die an dem unteren Theile der warmen Fläche bereits erwärmten weiter emporfliessenden Lufttheilchen an den oberen Flächentheilen nicht mehr so viel Wärme aufnehmen können wie kältere Lufttheilchen, und es ist zu vermuthen, dass dieser Einfluss gegen den ersteren überwiegend ist. In welcher Weise die verschiedenen Einflüsse zur Geltung gelangen, ist durch Versuche ermittelt.

In Bezug auf den Wärmeübergang durch Leitung oder Berührung ist die Natur der Körperoberfläche und die absolute Höhe der Temperaturen ohne Einfluss; wohl aber ist der durch Berührung mit der Luft veranlasste Wärmeübergang abhängig von dem Ueberschuss

der Temperatur des Körpers über jene der Umgebung, sowie von der Form, den Dimensionen und der Lage des Körpers. Man sieht ohne weiteres ein, dass es hiefür nicht gleichgültig sein kann, ob die von kalter Luft bestrichene Fläche eine verticale Ebene oder eine Kugel-, Kegel- oder Cylinderfläche ist, ob die Lage des Cylinders horizontal oder vertical ist u. s. w.

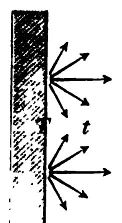
Die erwähnten Abhängigkeitsverhältnisse können zum Theil durch die im Folgenden mitzutheilenden empirischen Formeln, welche von Dulong und Petit ermittelt und in Bezug auf die Coëfficienten von Péclet*) vervollständigt worden sind, dargestellt werden. Indessen darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Formeln und Coëfficienten, wie sie durch Experimente unter bestimmten Umständen ermittelt worden sind, nicht unter allen Umständen genaue Resultate liefern können. Péclet selbst bezeichnet sie als nur annähernd zuverlässig. Desshalb sind für die praktische Anwendung abgekürzte Rechnungsweisen mit einfacheren Formeln und abgerundeten Coëfficienteu sehr wohl statthaft, das um so mehr, weil die veränderlichen Zustände der Wirklichkeit selten genau in der Rechnung berücksichtigt werden können.

§. 187.

Berechnung der durch Strahlung erfolgenden Emission.

Die mit R bezeichnete Wärmemenge, welche in Strahlen, Radien, emittirt wird (Fig. 202) ist für das Quadratmeter Emissionsfläche und für die Stunde gegeben durch die Formel:

Fig. 202.



$$R = 124{,}72 \, . \, K a^{t} \left[a^{(T-t)} - 1 \right] \quad . \; . \quad (2$$

In dieser Formel bedeutet:

T die Temperatur der Emissionsfläche,
t die Temperatur der Umgebung, also
$(T - t)$ den Ueberschuss der Temperatur der Emissionsfläche über die der Umgebung
a die constante Zahl 1,0077,
K eine von der Natur der Emissionsfläche abhängige Zahl.

Folgende Werthe von K sind einer grösseren Zusammenstellung von Péclet entnommen.

*) Péclet, Traité de la chaleur, IV. Aufl. Paris 1878. I. Theil S. 519 ff.

Tabelle I.

Werthe des Strahlungscoëfficienten K für verschiedene Substanzen.

Kupfer	0,16	Bausteine	3,60
Zinn	0,215	Gyps	3,60
Zink	0,24	Holz	3,60
Polirtes Messing	0,258	Feiner Sand	3,62
Polirtes Schwarzblech	0,45	Baumwollenzeug	3,65
Verbleites Eisenblech	0,65	Wollenstoff	3,68
Gewöhnliches Eisenblech	2,77	Seidenstoff	3,71
Glas	2,91	Oelfarbenanstrich	3,71
Neues Gusseisen	3,17	Papier	3,77
Rostiges Gusseisen	3,36	Kienruss	4,01
Rostiges Eisenblech	3,36	Wasser	5,31

Péclet bemerkt hierzu, dass bei Papier und bei Zeugstoffen die Farbe ohne Einfluss ist. Doch vermindert die Versilberung und Vergoldung des Papiers die Strahlung bedeutend, nach Péclet von 3,77 auf 0,42 und beziehungsweise 0,23. Dieses ist um so mehr von Wichtigkeit, da die Gesetze der Wärmeemission auch für die Wärmeaufnahme gelten, und die Wärme aufnehmenden und wieder ausstrahlenden Flächen oft mit Papier, Tapeten, oder mit Zeugstoffen überzogen sind. Der Coëfficient für Wasser ist ebenfalls von Wichtigkeit, weil die emittirenden Flächen zuweilen nass sind, so die Aussenflächen von Mauern bei anschlagendem Regen, auch zuweilen bei rasch eintretender milder Witterung nach strenger Kälte, ferner die Aussenflächen von Eis- und Kaltwassergefässen, welche zur Luftkühlung dienen, in Folge des dabei erfolgenden Wasserniederschlags, sowie die Eis- und Wasseroberflächen selbst bei offenen Kühlapparaten u. s. w.

Um die etwas umständlichen Berechnungen zu vermeiden, welche die Formel (2) erfordern würde, werden in der folgenden Tabelle II. die durch Strahlung emittirten Wärmemengen für das Quadratmeter und die Stunde bei verschiedenen Temperaturüberschüssen angegeben, und zwar unter der Voraussetzung einer Umgebung von 15° C. als der (nach Péclet) gewöhnlichen Temperatur geheizter Räume. Weil man ohne merklichen Fehler annehmen kann, dass die emittirte Wärmemenge gleichmässig mit der Temperatur innerhalb eines Intervalls von 10° wachse, sind in die Tabelle auch die Formeln eingesetzt, welche die emittirten Wärmemengen in ihrem Abhängigkeitsverhältniss von dem Temperaturüberschuss darstellen.

Tabelle II.

Durch Strahlung emittirte Wärmemengen.

Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von R	Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von R
10°	11,2 . K	130°	239,3 . K
	1,14 $K\,(T-t)$		1,87 $K\,(T-t)$
20	23,2 . K	140	269,5 . K
	1,18 $K\,(T-t)$		1,97 $K\,(T-t)$
30	36,1 . K	150	302,1 . K
	1,22 $K\,(T-t)$		2,06 $K\,(T-t)$
40	50,1 . K	160	339,0 . K
	1,28 $K\,(T-t)$		2,17 $K\,(T-t)$
50	65,3 . K	170	377,4 . K
	1,35 $K\,(T-t)$		2,27 $K\,(T-t)$
60	81,7 . K	180	418,5 . K
	14,3 $K\,(T-t)$		2,38 $K\,(T-t)$
70	99,3 . K	190	463,2 . K
	1,50 $K\,(T-t)$		2,50 $K\,(T-t)$
80	118,5 . K	200	511,2 . K
	1,55 $K\,(T-t)$		2,62 $K\,(T-t)$
90	138,7 . K	210	563,1 . K
	1,59 $K\,(T-t)$		2,75 $K\,(T-t)$
100	161,3 . K	220	619,0 . K
	1,65 $K\,(T-t)$		2,88 $K\,(T-t)$
110	185,3 . K	230	679,5 . K
	1,72 $K\,(T-t)$		3,03 $K\,(T-t)$
120	211,3 . K	240	744,8 . K
	1,80 $K\,(T-t)$		3,24 $K\,(T-t)$
130	239,3 . K	250	848,7 . K

Da die Emission durch Strahlung auch mit der absoluten Temperatur der Umgebung wächst, so müssen, wenn die Temperatur der Umgebung nicht 15° C. ist, wie oben angenommen, sondern

0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100°

die Zahlen der vorstehenden Tabelle multiplicirt werden mit

0,89 0,96 1,04 1,12 1,21 1,31 1,41 1,52 1,65 1,78 1,92.

§. 188.

Berechnung der durch Berührung mit der Luft erfolgenden Emission.

Da der Wärmeverlust, welcher durch die Berührung der Luft mit der emittirenden Fläche veranlasst wird (Fig. 203), ausser von dem Ueberschusse der Temperatur des Körpers über jene der Luft, auch von der Form und den Dimensionen des Körpers abhängig ist, so müssen für verschieden gestaltete Körper besondere Formeln in Anwendung kommen. Bezeichnet man mit K_1 eine nach der Form und den Dimensionen des Körpers festzustellende Zahl, ferner wie in §. 187 mit $(T - t)$ den constanten Ueberschuss der Temperatur der wärmeren Körperfläche über jene der Umgebung, so ist allgemein die Grösse dieses Wärmeverlustes A, welcher durch Ableitung der Wärme von der warmen Oberfläche an die sie berührende Luft auf das Quadratmeter und in der Stunde stattfindet, dargestellt durch die Formel

Fig. 203.

t

$$A = 0{,}552\ K_1\ (T - t)^{1{,}233} \quad \ldots\ldots \quad (3$$

Zur Vermeidung umständlicher Rechnungen sind wieder in gleicher Weise wie in der vorigen Tabelle die Werthe von A für verschiedene Temperaturüberschüsse zusammengestellt, und ebenso die Formeln eingefügt, nach welchen die Wärmemengen für zwischenliegende Temperaturüberschüsse berechnet werden können.

Tabelle III.

Durch Luftberührung emittirte Wärmemengen.

Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von A		Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von A	
10°	$9{,}4 \,.\, K_1$		60°	$86{,}0 \,.\, K_1$	
		$1{,}05 \,.\, K_1 (T-t)$			$1{,}46 \,.\, K_1 (T-t)$
20	$22{,}2 \,.\, K_1$		70	$104{,}0 \,.\, K_1$	
		$1{,}176 \,.\, K_1 (T-t)$			$1{,}51 \,.\, K_1 (T-t)$
30	$36{,}6 \,.\, K_1$		80	$122{,}6 \,.\, K_1$	
		$1{,}27 \,.\, K_1 (T-t)$			$1{,}55 \,.\, K_1 (T-t)$
40	$52{,}2 \,.\, K_1$		90	$141{,}7 \,.\, K_1$	
		$1{,}34 \,.\, K_1 (T-t)$			$1{,}59 \,.\, K_1 (T-t)$
50	$68{,}6 \,.\, K_1$		100	$161{,}5 \,.\, K_1$	
		$1{,}40 \,.\, K_1 (T-t)$			$1{,}63 \,.\, K_1 (T-t)$
60	$86{,}0 \,.\, K_1$		110	$181{,}5 \,.\, K_1$	

Tabelle III.

Durch Luftberührung emittirte Wärmemengen.
(Fortsetzung.)

Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von A		Temperatur-Ueberschuss $(T-t)$ °C.	Werth von A	
110°	181,5 . K_1		180°	333,2 . K_1	
		1,67 . $K_1 (T-t)$			1,85 . $K_1 (T-t)$
120	202,1 . K_1		190	356,1 . K_1	
		1,70 . $K_1 (T-t)$			1,88 . $K_1 (T-t)$
130	223,1 . K_1		200	379,4 . K_1	
		1,74 . $K_1 (T-t)$			1,90 . $K_1 (T-t)$
140	244,4 . K_1		210	402,9 . K_1	
		1,76 . $K_1 (T-t)$			1,92 . $K_1 (T-t)$
150	266,1 . K_1		220	426,7 . K_1	
		1,79 . $K_1 (T-t)$			1,95 . $K_1 (T-t)$
160	288,1 . K_1		230	450,7 . K_1	
		1,81 . $K_1 (T-t)$			1,97 . $K_1 (T-t)$
170	310,5 . K_1		240	475,0 . K_1	
		1,83 . $K_1 (T-t)$			1,99 . $K_1 (T-t)$
180	333,2 . K_1		250	498,6 . K_1	

Die Werthe von K_1 in dieser Tabelle und in der Formel (3) können nicht so einfach angegeben werden, wie jene für K in der zweiten Formel und Tabelle. Es sind hier die Werthe für K_1 nach den folgenden Formeln zu berechnen.

Für kugelförmige Körper vom Halbmesser r ist

$$K_1 = 1,778 + \frac{0,13}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4$$

Setzt man für den Kugel-Halbmesser r die Grössen

r = 0,5 m 0,10 m 0,20 m 0,40 m 0,80 m

so findet man für K_1 die Werthe

K_1 = 4,38 3,08 2,43 2,10 1,94

Für horizontale Cylinder mit kreisförmigem Querschnitt vom Radius r ist

$$K_1 = 2,058 + \frac{0,0382}{r} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5$$

Setzt man als Halbmesser der horizontalen Cylinder

r = 0,5 m 0,10 m 0,15 m 0,20 m 0,25 m 0,30 m 0,40 m

so wird der Reihe nach

K_1 = 2,82 2,44 2,30 2,25 2,21 2,18 2,15

Bei den verticalen Cylindern hängt die Wärmeabgabe sowohl von ihrer Höhe h, als auch von ihrem Halbmesser r ab, und der Coëfficient ist durch die Gleichung gegeben:

$$K_1 = \left\{0{,}726 + \frac{0{,}0345}{\sqrt{r}}\right\} \left\{2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h}}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad (6$$

Nach dieser Formel sind die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Werthe von K_1 für eine Anzahl verschieden hoher und verschieden breiter verticaler Cylinder berechnet.

Tabelle IV.

Coëfficienten K_1 der Luftberührungs-Emission verticaler Cylinder mit Rücksicht auf die Höhe.

Radius des Cylinders	Höhe des Cylinders						
	0,50 m	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	10 m
0,025 m	3,55	3,20	2,95	2,84	2,79	2,73	2,62
0,05 „	3,22	2,90	2,68	2,57	2,52	2,48	2,38
0,10 „	3,05	2,75	2,54	2,44	2,39	2,35	2,26
0,20 „	2,93	2,65	2,45	2,35	2,30	2,26	2,17
0,30 „	2,88	2,60	2,40	2,31	2,26	2,22	2,13
0,40 „	2,85	2,57	2,37	2,28	2,23	2,20	2,11
0,50 „	2,83	2,55	2,36	2,26	2,22	2,18	2,09

Setzt man in der letzten Gleichung (6), welche für verticale Cylinder gilt, den Halbmesser unendlich gross, also $r = \infty$, so muss sich die Formel für verticale ebene Flächen von der Höhe h ergeben. Auf diese Weise wird für solche

$$K_1 = 0{,}726 \left(2{,}43 + \frac{0{,}8758}{\sqrt{h}}\right)$$

$$K_1 = 1{,}76418 + \frac{0{,}6358308}{\sqrt{h}}$$

oder, wie sie auch von Péclet und von Ferrini gegeben wird:

$$K_1 = 1{,}764 + \frac{0{,}636}{\sqrt{h}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7$$

Die nachstehende Tabelle enthält die Werthe von K_1 für eine Anzahl verschieden hoher ebener verticaler Emissionsflächen.

Tabelle V.

Coëfficienten K_1 der Luftberührungs-Emission ebener Flächen mit Rücksicht auf die Höhe.

Höhe der ebenen Fläche	Werth von K_1	Höhe der ebenen Fläche	Werth von K_1
0,10 m	3,848	2 m	2,21
0,20 „	3,186	3 „	2,13
0,30 „	2,926	4 „	2,08
0,40 „	2,770	5 „	2,05
0,50 „	2,66	10 „	1,96
0,60 „	2,585	15 „	1,92
1 „	2,400	20 „	1,90

§. 189.

Berechnung der gesammten Wärmeemission.

Die Gesammtmenge M der von einer Oberfläche, welche in einer constanten Temperatur T erhalten wird, an die Umgebung von der Temperatur t^0 emittirten Wärme ist pro Quadratmeter und Stunde nach §. 186, 187 und 188:

$$M = R + A$$

und mit Rücksicht auf die Gleichungen (2) und (3):

$$M = 124{,}72\ K a^t \left[a^{(T-t)} - 1\right] + 0{,}552\ K_1\ (T - t)^{1{,}233} \quad . \ . \ (8$$

Man kann aber in allen Fällen der praktischen Anwendung die Werthe von R und A aus den zu den Gleichungen (2) und (3) gegebenen Tabellen aufsuchen und auf diese Weise durch ziemlich einfache Rechnungen genügende Näherungswerthe erlangen.

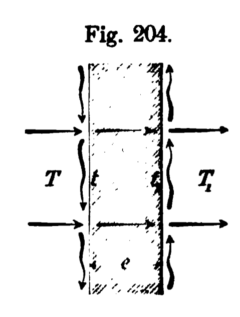
Es ist, wie durch Beispiele nachgewiesen werden könnte, nicht überflüssig, hier darauf aufmerksam zu machen, dass man sich der Emissionsformeln nicht in oberflächlich mechanischer Weise zur Berechnung der Wärmeverluste bedienen, sondern sich erinnern möge, dass auch die Transmissionsvorgänge zu berücksichtigen sind, von welchen im Folgenden gehandelt wird.

§. 190.

Die Wärmetransmission.

Die folgenden Untersuchungen beziehen sich auf die Transmission der Wärme durch Körper hindurch, welche in constanter Temperatur erhalten werden. Wenn ein fester Körper von zwei parallelen Flächen begrenzt ist, welche in constanten aber verschiedenen Temperaturen erhalten werden (Fig. 204), so durchzieht den Körper eine constante Wärmeströmung, welche in Bezug auf die transmittirte Wärmemenge direct proportional ist der Grösse der Oberfläche und der Differenz der Temperaturen beider Flächen, dagegen umgekehrt proportional dem Abstande der beiden Flächen.

Fig. 204.



Denkt man sich einen plattenförmigen Körper und bezeichnet man mit

M die für die Flächeneinheit und in der Zeiteinheit transmittirte Wärmemenge,

t und t_1 die Temperaturen der beiden Flächen (während die beiderseitigen Lufttemperaturen T und T_1 sein mögen),

e die Dicke der Platte,

C die Wärmeleitungsfähigkeit der Substanz, mit anderen Worten den Werth von M für $t - t_1 = 1$, und $e = 1$,

so besteht die Gleichung

$$M = \frac{C\,(t - t_1)}{e} = (t - t_1) : \frac{e}{C}$$

Diese Formel ist durch Versuche bestätigt. Ebenso sind durch Versuche die in der folgenden Tabelle VI zusammengestellten Werthe von C gefunden*).

Jene Zahlen für C geben die Wärmemenge an, welche in einer Stunde durch eine Platte von der betreffenden Substanz und zwar von 1 qm einseitiger Oberfläche und von 1 m Dicke gelangt, wenn die Temperaturen der beiden äusseren Begrenzungsflächen um 1° C. verschieden sind.

Da es von einigem Interesse ist, die Wärmeleitungsfähigkeit mit der Dichtigkeit der Materialien zu vergleichen, und weil das specifische

*) Péclet, Traité de la chaleur. IV. Auflage.

Gewicht zuweilen über die Materialsorte Aufschluss gewährt, sind die betreffenden specifischen Gewichte beigesetzt.

Es muss schon hier erwähnt werden, dass die obige Transmissionsformel nicht unmittelbar für die genaue Berechnung der übergeführten Wärmemenge dienlich ist, weil die Temperaturen t und t_1 der Oberflächen unbekannt und keineswegs den beiderseitigen Lufttemperaturen T und T_1 gleich, sondern nach den Emissionsgrössen verschieden von jenen sind. Da die Differenz $(t - t_1)$ kleiner ist als $(T - T_1)$, so würden die Wärmeverluste bei Mauern u. dgl. sich grösser als sie wirklich sind, ergeben, wenn man für die Flächentemperaturen die Lufttemperaturen mit directer Benützung der Formel $M = \frac{C\,(t - t_1)}{e}$ und des Wärmeleitungscoëfficienten C einführen wollte.

Tabelle VI.

Wärmeleitungs-Coëfficienten C bei verschiedenen Körpern von bestimmter Dichte.

Substanzen.	Specifisches Gewicht.	Wärmeleitungsfähigkeit C.
Marmor, grau und feinkörnig	2,68	3,48
„ weiss und grobkörnig	2,77	2,78
Kalkstein, feinkörnig	2,34	2,08
desgl. „	2,27	1,69
desgl. „	2,17	1,70
Lias-Sandstein, grobkörnig	2,24	1,32
desgl. „	2,22	1,27
Gyps, gewöhnlicher, angemacht		0,33
„ sehr fein, angemacht	1,25	0,52
Thon, gebrannt	1,98	0,69
desgl. „	1,85	0,51
Tannenholz, senkrecht auf die Fasern . .	0,48	0,093
desgl. parallel zu den Fasern . . .		0,170
Nussbaumholz, senkrecht auf die Fasern .	0,70	0,103
desgl. parallel zu den Fasern . .		0,174
Eichenholz, senkrecht auf die Fasern . .	0,80	0,211
Glas	2,44	0,75
Desgl.	2,55	0,88

Tabelle VI.

Wärmeleitungs-Coëfficienten C bei verschiedenen Körpern von bestimmter Dichte.

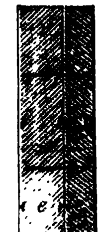
(Fortsetzung.)

Substanzen.	Specifisches Gewicht.	Wärmeleitungsfähigkeit C.
Quarzsand	1,47	0,27
Holzasche	0,45	0,06
Holzkohlenpulver	0,41	0,08
Kokspulver	0,77	0,16
Kupfer	8,90	69
Eisen	7,79	28
Zink	7,00	28
Zinn	7,29	22
Blei	11,32	14

Die Wärmeleitungsfähigkeit von Baumwolle, Eiderdunen und anderen Faserstoffen ist nach Péclet im Wesentlichen die gleiche wie die der stagnirenden Luft und kann als 0,04 angenommen werden.

Wie bereits oben angedeutet, ist es nicht zulässig, die Wärmeüberführung geradezu nach den Wärmeleitungscoëfficienten zu berechnen oder zu vergleichen. Durch einen plattenförmigen Körper kann in bestimmter Zeit nicht mehr Wärme übergeführt, transmittirt werden, als zugleich einerseits aufgenommen, andererseits abgegeben, emittirt wird. Uebertrifft z. B. die Wärmeleitungsfähigkeit des Kupfers jene des Eisens auch um mehr als das Doppelte, so ist doch die Wärmeüberführung bei kupfernen und eisernen Gefässen wenig verschieden, was aus dem viel geringeren Emissionsvermögen des Kupfers zu erklären ist.

Fig. 205.



Die richtigen Anwendungen der Formeln und Tabellen werden sich aus den weiterhin folgenden Untersuchungen ergeben. Vorerst mag hier die Betrachtung der Transmission ohne Berücksichtigung der Emissionsgrösse auf mehrfache Wände ausgedehnt werden.

Wenn der transmittirende Körper aus zwei dicht an einander gelegten Platten besteht (Fig. 205), welche die Dicken e und e_1 und die

Leitungsfähigkeiten C und C_1 haben, und wenn man mit t und t_1 die Temperaturen der äusseren Begrenzungsflächen, mit Θ die gemeinsame Temperatur der sich berührenden Flächen bezeichnet, so ist, sobald der Beharrungszustand eingetreten, weil dann durch jede der gleich grossen und parallelen Schichten oder Flächen in gleichen Zeiten gleiche Wärmemengen hindurchgehen müssen, die für die Flächeneinheit und in der Zeiteinheit durchströmende Wärmemenge sowohl

$$M = \frac{C\,(t - \Theta)}{e} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1$$

als auch

$$M = \frac{C_1\,(\Theta - t_1)}{e_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (2$$

Die unbekannte Temperatur Θ ist zu eliminiren. Aus Gleichung (1 wird

$$\Theta = t - M \,.\, \frac{e}{C} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (3$$

Fig. 206.



Ebenso wird aus Gleichung (2:

$$\Theta = M \,.\, \frac{e_1}{C_1} + t_1 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (4$$

Durch Gleichsetzung von (3 und (4:

$$M \,.\, \frac{e_1}{C_1} + t_1 = t - M \,.\, \frac{e}{C}$$

$$M\left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}\right) = t - t_1$$

$$M = (t - t_1) : \left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}\right) \quad . \; . \; . \; . \; (5$$

Ebenso findet man für irgend eine Anzahl plattenförmiger Körper (Fig. 206) die transmittirte Wärmemenge:

$$M = (t - t_1) : \left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2} + \frac{e_3}{C_3} + \ldots\right) \; . \; . \; . \; (6$$

Die in Betreff der einfacheren Gleichung oben gemachten Bemerkungen haben auch hier Geltung.

§. 191.

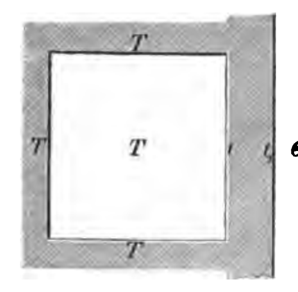
Anwendung der Emissions- und Transmissionsformeln auf volle Umschliessungen.

Mittels der in §. 190 entwickelten Transmissionsgleichungen und der in der Tabelle VI angegebenen Werthe der Wärmeleitungsfähigkeiten könnte man die durch die Körper transmittirte Wärmemenge leicht berechnen, wenn man die Temperaturen t und t_1 ihrer Ober-

flächen kennen würde. Diese Temperaturen sind aber niemals genau bekannt und man könnte sie nur durch äusserst sorgfältig angestellte Versuche messen, die in der Praxis nicht möglich sind. Andererseits muss man aber bei der Anfertigung von Heizungsentwürfen wenigstens einen Näherungswerth der transmittirten Wärmemengen haben mit Rücksicht auf die Temperatur der Luft, welche sich ausserhalb der Oberflächen befindet.

Man denke sich einen Raum (Figur 207), welcher auf der Temperatur T erhalten wird, von Mauern eingeschlossen, deren eine der äusseren Luft von der Temperatur Θ ausgesetzt sei. Im Beharrungszustande wird die die Mauer durchdringende, transmittirte Wärmemenge die gleiche sein wie diejenige, welche in derselben Zeit an der Aussenfläche entweicht, emittirt wird. Hiebei ist $T > \Theta$ vorausgesetzt.

Fig. 207.



Die Innenfläche wird eine Temperatur t haben, welche geringer ist als die Temperatur T des Raumes, und die Aussenfläche eine Temperatur t_1, welche höher ist als die äussere Temperatur Θ.

Man darf annehmen, dass die Wärmeaufnahme an der Innenfläche sich nach denselben Gesetzen vollzieht, wie die Wärmeemission an der Aussenfläche. Bezeichnet man nun mit M die pro Quadratmeter und Stunde transmittirte und zugleich emittirte Wärmemenge, so hat man hiefür drei algebraische Ausdrücke. Der eine ist abhängig von der Wärmeleitungsfähigkeit C des Mauermaterials, die beiden anderen Ausdrücke sind abhängig von den Coëfficienten K und K_1 der Wärmeemission durch Strahlung und Luftberührung; es sind damit Gleichungen gegeben, aus welchen man die unbekannten Temperaturen t und t_1, ausgedrückt durch bekannte Grössen, entwickeln kann.

Wollte man aber hiebei die Formeln nach Dulong (Gleichungen 2, 3 und 8 auf Seite 554, 557 u. 560) anwenden, so würde man sogar bei Benützung von Näherungsausdrücken nach Vereinfachung jener Gleichungen nur zu sehr verwickelten und schwer anzuwendenden Gleichungen gelangen. Die Anwendung des Newton'schen Gesetzes, welches für geringe Temperaturüberschüsse hinreichend genaue Resultate liefert, wird man aus diesen Gründen mit Péclet für zweckmässig halten dürfen, um so mehr, da alle Berechnungen des Wärmeübergangs für die Praxis nur als Annäherungen gelten können; es ist nicht möglich, alle Umstände zu

berücksichtigen, welche von Einfluss sind, wie die Materialverschiedenheiten, die Ungleichheiten der Temperatur in Rücksicht auf die Höhenverhältnisse, die durch hervortretende Architekturtheile u. dgl. veranlassten Temperaturverschiedenheiten, Abhängigkeit von der Situation, Einwirkungen der Sonne, der Winde, der Feuchtigkeit, die Veränderlichkeit der absoluten Temperaturen und der Temperaturdifferenzen und andere Zufälligkeiten.

Bei Benützung des Newton'schen Gesetzes (nach §. 185 Gl. (1) in der allgemeinen Form

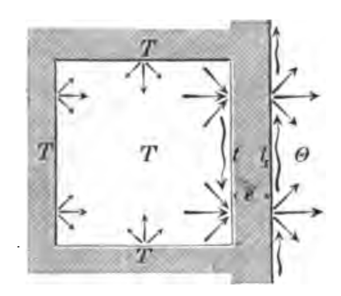
$$M = Q\,(T - t)$$

wobei ohne Rücksicht auf die im vorliegenden Falle gewählten Bezeichnungen T die Temperatur des Wärme abgebenden Körpers und t die Temperatur der kälteren Luft bezeichnet, ist dann für Q die Summe der Werthe K und K_1 der Strahlungs- und Luftberührungs-Emission mit Berücksichtigung der Veränderlichkeit dieser Coëfficienten aus den Tabellen (§. 187 und 188) zu entnehmen. Es ist also zu setzen

$$Q = K + K_1$$

Die pro Quadratmeter und Stunde vermöge der Transmission die Mauer durchdringende Wärmemenge ist (Fig. 208):

Fig. 208.



$$M = \frac{C}{e} \cdot (t - t_1) \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Die pro Quadratmeter und Stunde von der innern Oberfläche aufgenommene Wärmemenge:

$$M_1 = Q\,(T - t) \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

Die pro Quadratmeter und Stunde von der äusseren Oberfläche abgegebene Wärmemenge:

$$M_2 = Q\,(t_1 - \Theta) \quad . \quad . \quad (3$$

Bei vorhandenem Beharrungszustande sind diese drei Wärmemengen gleich gross, es ist also

$$M = M_1 = M_2$$

Folglich enthalten die drei bezeichneten nicht identischen Gleichungen nur drei unbekannte Grössen, nämlich M, t_1 und t, deren Werthe daraus gefunden werden können.

Um vorerst aus Gleichung (2 die Unbekannte t auszudrücken ist

$$M = QT - Qt$$

$$Qt = QT - M$$

$$t = \frac{QT - M}{Q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

Ebenso ist, um t_1 zu finden, aus Gleichung (3:

$$M = Qt_1 - Q\Theta$$
$$Qt_1 = M + Q\Theta$$
$$t_1 = \frac{M + Q\Theta}{Q} \quad \ldots \ldots \ldots (5$$

Durch Substitution der Werthe für t und t_1 aus den Gleichungen (4 und (5 in Gleichung (1 wird

$$M = \frac{C}{e}\left(\frac{QT - M}{Q} - \frac{M + Q\Theta}{Q}\right)$$
$$M = \frac{C}{eQ}(QT - 2M - Q\Theta)$$
$$M\left(1 + \frac{2C}{eQ}\right) = \frac{CQ(T - \Theta)}{eQ}$$
$$M(eQ + 2C) = CQ(T - \Theta)$$
$$M = \frac{CQ(T - \Theta)}{eQ + 2C} \quad \ldots \ldots \ldots (6$$

oder auch

$$M = \frac{Q(T - \Theta)}{2 + Q \cdot \frac{e}{C}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots (7$$

Aus diesen Gleichungen (6 oder (7 lassen sich einige wichtigen Folgerungen ziehen:

Wenn e sehr klein ist gegen C, und damit auch eQ so klein im Verhältniss zu $2C$, dass der Werth von eQ vernachlässigt werden darf, so reduciren sich die Gleichungen (6 und (7 auf

$$M = \frac{Q(T - \Theta)}{2} \quad \ldots \ldots \ldots (8$$

Dann ist also der Werth von M als unabhängig von C und e zu betrachten, d. h. die pro Quadratmeter und Stunde übergeführte Wärmemenge ist unabhängig von der Natur des Körpers und von seiner Dicke. Bei Glasplatten beispielsweise, die einige Millimeter dick sind, kann dieses Anwendung finden; denn für Glas ist:

$$C = 0{,}75$$
$$Q = K + K_1 = 2{,}91 + 2{,}21 = 5{,}12,$$

wenn nämlich in Bezug auf K_1 eine Scheibe, beziehungsweise ein Fenster von 2 m Höhe vorausgesetzt wird. Dann ist auch

$$2C + Qe = 1{,}50 + 5{,}12 \cdot e,$$

und für die Dicke $e = 0{,}001$ m:

$$2C + Qe = 1{,}50 + 0{,}00512;$$

für die Dicke $e = 0{,}002$ m:

$$2\,C + Qe = 1{,}50 + 0{,}01024;$$

für die Dicke $e = 0{,}003$ m:

$$2\,C + Qe = 1{,}50 + 0{,}01536;$$

Es würde demnach bei ziemlich dicken Glasscheiben die Anwendung der einfachen Formel (8 noch zulässig sein.

Noch in höherem Grade gilt dieses von Metallen, so dass bei Metallgefässen die übergeführten Wärmemengen nahezu dieselben sein können, wenn auch das Material, beziehungsweise die Wärmeleitungsfähigkeiten und die Wanddicken in ziemlich weiten Grenzen verschieden sind.

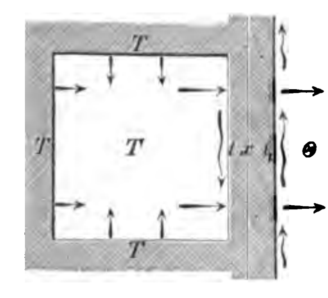
Wenn man es dagegen mit einem sehr schlechten Wärmeleiter von bedeutender Dicke zu thun hat, wenn also der Leitungs-Coëfficient C sehr klein und die Körperdicke e sehr gross ist, so dass man in Gleichung (6 die Grösse $2\,C$ im Verhältniss zu $e\,Q$ unberücksichtigt lassen kann, so wird auch Gleichung (6 die folgende:

$$M = \frac{C\,(T - \Theta)}{e} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (9$$

In einem solchen Falle würde also die pro Quadratmeter und Stunde übergeführte Wärmemenge als unabhängig von der Natur und Beschaffenheit der Oberfläche, aber als umgekehrt proportional zu der Dicke bezeichnet werden dürfen.

Bei zwei dicht neben einander aufgeführten Mauern (Fig. 209) ergeben sich unter der nach der Erfahrung zulässigen Annahme, dass plötzliche Temperaturänderungen bei dem Uebergang der Wärme von der ersten zur zweiten Mauer nicht stattfinden, und wenn man mit x die unbekannte Temperatur an der Verbindungsfläche beider Mauern, mit e und e_1 die einzelnen Mauerdicken, mit C und C_1 ihre Wärmeleitungsfähigkeiten bezeichnet, im Beharrungszustande folgende Gleichungen für denselben Werth M der pro Quadratmeter und Stunde aufgenommenen, transmittirten und emittirten Wärmemenge:

Fig. 209.



Die durch die erste Mauer geleitete Wärmemenge ist:

$$M = \frac{C\,(t - x)}{e} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1$$

Die durch die zweite Mauer geleitete Wärmemenge:

$$M = \frac{C_1\,(x - t_1)}{e_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2$$

Die an der inneren Oberfläche aufgenommene Wärmemenge:

$$M = Q(T - t) \quad \ldots\ldots\ldots (3$$

Die an der Aussenfläche emittirte Wärmemenge:

$$M = Q(t_1 - \Theta) \quad \ldots\ldots\ldots (4$$

Nun lassen sich die in den vier nicht identischen Gleichungen enthaltenen Unbekannten M, x, t und t_1 durch die bekannten Grössen darstellen und zwar die hier wichtigste Grösse M etwa auf folgende Weise:

Aus Gleichung (1 ist

$$x = t - \frac{Me}{C} \quad \ldots\ldots\ldots (5$$

Aus Gleichung (2

$$x = \frac{Me_1}{C_1} + t_1 \quad \ldots\ldots\ldots (6$$

Aus (5 und (6 wird durch Vereinigung der gleichen Werthe:

$$t - M\frac{e}{C} = t_1 + M\frac{e_1}{C_1} \quad \ldots\ldots\ldots (7$$

Aus Gleichung (3 ist

$$t = T - \frac{M}{Q} \quad \ldots\ldots\ldots (8$$

Aus Gleichung (4

$$t_1 = \frac{M}{Q} + \Theta \quad \ldots\ldots\ldots (9$$

Durch Substitution der Werthe (8 und (9 in Gleichung (7 wird

$$T - \frac{M}{Q} - M\frac{e}{C} = \frac{M}{Q} + \Theta + M\frac{e_1}{C_1}$$

Fig. 210.

$$M\left(\frac{2}{Q} + \frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}\right) = T - \Theta$$

$$M = \frac{T - \Theta}{\frac{2}{Q} + \frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}} \quad \ldots (10$$

oder auch

$$M = \frac{Q(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}\right)} \quad \ldots (11$$

Ebenso findet man für irgend eine Anzahl von dicht aneinander gesetzten Platten oder Mauern (Fig. 210) deren Dicken $e, e_1, e_2, e_3, \ldots$ und deren Wärmeleitungsfähigkeiten $C, C_1, C_2, C_3, \ldots$ sind, die Gleichung:

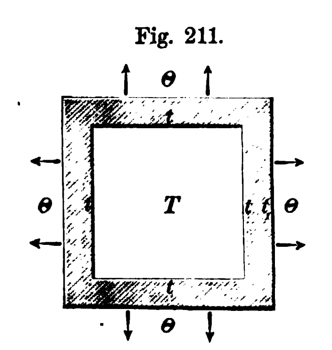
$$M = \frac{Q(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2} + \frac{e_3}{C_3} + \ldots\right)} \quad \ldots (12$$

Vorstehende Gleichungen gelten für den am häufigsten vorkommenden Fall, dass die innere Mauerfläche von der Temperatur t beständig strahlende Wärme von den übrigen Körpern und Innenflächen des geschlossenen Raumes aufnimmt, wenn also nur die betrachtete Mauer der äusseren Abkühlung ausgesetzt ist.

Sind dagegen alle Mauern eines geschlossenen Raumes der Abkühlung ausgesetzt, wie es annähernd bei frei stehenden Pavillons, welche nur einen einzigen Raum enthalten, sowie bei manchen Kirchen der Fall ist, so haben alle inneren Maueroberflächen ziemlich gleiche Temperatur, und zwar eine geringere als die Luft des Raumes; die gegenseitige Ausstrahlung ist dann ohne Einfluss, die Wärmeaufnahme an den inneren Oberflächen erfolgt nur in Folge der Luftberührung, und der Wärmedurchgang pro Quadratmeter und Stunde ist geringer, als ihn die obigen Gleichungen darstellen.

Wenn alle Umgrenzungskörper des Raumes der Abkühlung durch die kalte Aussenluft ausgesetzt sind (Fig. 211) und gleiche Temperatur haben, beträgt die pro Quadratmeter und Stunde übergeführte Wärmemenge für den Beharrungszustand eine Grösse, welche wieder vorläufig auf verschiedene Weise ausgedrückt werden kann, nämlich:

Fig. 211.



Die bei der unbekannten Wandflächen-Temperatur t durch Luftberührung an die innere Oberfläche abgegebene Wärmemenge ist

$$M = K_1 \, (T - t)$$

Die bei den unbekannten Temperaturen und t_1 durch die Mauer transmittirte Wärmemenge:

$$M = \frac{C \, (t - t_1)}{e}$$

Die bei der unbekannten Temperatur t_1 der äusseren Mauerfläche durch Strahlung und Luftberührung emittirte Wärmemenge:

$$M = Q \, (t - \Theta)$$

Dabei ist der Coëfficient Q die Summe der beiden Emissionscoëfficienten mit Rücksicht auf Strahlung und Luftberührung, nämlich

$$Q = K + K_1$$

Aus vorstehenden Gleichungen findet man durch bekannte Grössen ausgedrückt

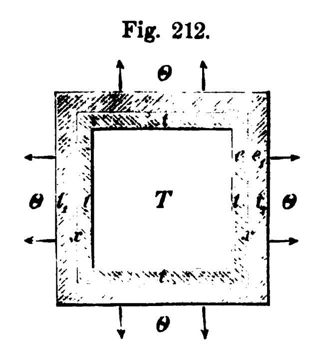
$$M = \frac{K_1 \, C \, Q \, (T - \Theta)}{C \, (Q + K_1) + Q \, e \, K_1}$$

oder

$$M = \frac{K_1 \, Q \, (T - \Theta)}{Q + K_1 + K_1 \, Q \, \frac{e}{C}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (13$$

Besteht die Umfassung des von allen Seiten der Abkühlung ausgesetzten Raumes (Fig. 212) aus zwei dicht aneinander aufgeführten Mauern von den Dicken e und e_1 und den Wärmeleitungsfähigkeiten C und C_1, so ist im Beharrungszustande die von der warmen Innenluft an die innere Wandfläche abgegebene Wärmemenge

Fig. 212.



$$M = K_1 \, (T - t)$$

Die durch die erste Mauer transmittirte Wärmemenge:

$$M = \frac{C}{e} \, (t - x)$$

Die durch die zweite Mauer transmittirte Wärmemenge:

$$M = \frac{C_1}{e_1} \, (x - t_1)$$

Die durch Strahlung und Luftberührung von der Aussenfläche an die kältere Umgebung transmittirte Wärmemenge:

$$M = Q \, (t_1 - \Theta)$$

Aus diesen vier Gleichungen wird

$$M = \frac{K_1 \, Q \, (T - \Theta)}{Q + K_1 + K_1 \, Q \left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1}\right)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (14$$

In gleicher Weise findet man die pro Quadratmeter und Stunde übergeführte Wärmemenge bei irgend einer Anzahl sich berührender Mauern, aus welchen die Umfassung eines allseitig der Abkühlung ausgesetzten Raumes besteht (Fig. 213):

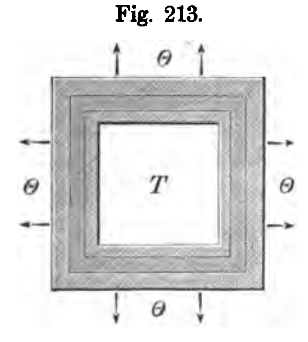
$$M = \frac{K_1 \, Q \, (T - \Theta)}{Q + K_1 + K_1 \, Q \left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2} + \, . \, .\right)} \quad . \; . \quad (15$$

Die letzteren Werthe für M, nämlich für den Wärmeübergang pro Quadratmeter und Stunde bei **allseitiger Wärmeabgabe nach aussen**, sind bedeutend kleiner als die früheren, weil in den letzteren Fällen die Temperatur der inneren Maueroberfläche geringer ist.

Die wirklichen Werthe liegen in den meisten Fällen zwischen beiden; denn die im Obigen gemachten Voraussetzungen sind in der

Wirklichkeit nicht vollkommen zutreffend, weder die erste, dass nur an einer einzigen der Umschliessungsflächen eines Raumes Wärme nach aussen übergehe und diese von den übrigen Wänden bestrahlt werde, indem diese die Temperatur der Innenluft haben, noch die zweite Voraussetzung, dass an allen Flächen gleichmässige Wärmeausströmung stattfinde, ohne überwiegende Strahlung nach irgend einer Seite im geschlossenen Raume.

Fig. 213.



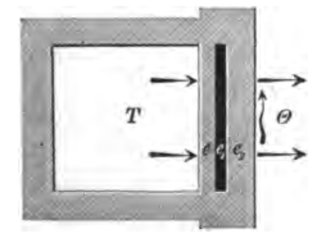
Im ersten Falle haben die inneren Oberflächen der Mauern, welche der äusseren Luft nicht ausgesetzt sind, doch nicht die Temperatur der Innenluft, weil sie Wärme gegen die kälteren Mauertheile und Fenster ausstrahlen. Im zweiten Falle sind innere Umschliessungstheile vorhanden, welche der äusseren Abkühlung nicht ausgesetzt sind, nämlich Fussböden und Decken, zuweilen auch noch andere Bautheile, wie die Mauerbögen, welche die Kirchenschiffe trennen. Diese Bautheile werden durch die Innenluft erwärmt und strahlen Wärme auf die Aussenmauern aus. In beiden Fällen endlich, wenn man eine Heizung durch strahlende Flächen hat, durch Kamine, Oefen oder Heizröhren, gelangen die Wärmestrahlen auf die inneren Mauerflächen und erhöhen deren Temperatur. Man kann aber die dargestellten Fälle als die Extreme derjenigen ansehen, welche gewöhnlich in der Praxis vorkommen.

§. 192.

Anwendung der Emissions- und Transmissionsformeln auf hohle Mauern.

Es sei die Aussenmauer eines geschlossenen und im Uebrigen der äusseren Abkühlung nicht ausgesetzten Raumes aus zwei parallelen Theilen gebildet, zwischen welchen ein Hohlraum von der Weite e_1 gelassen ist. (Fig. 214).

Fig. 214.



Wäre der Hohlraum irgendwie mit einer Substanz von der Wärmeleitungsfähigkeit C_1 ausgefüllt, so dass eine Luftbewegung darin nicht vor sich gehen könnte, so wäre die Gleichung 12 (S. 569) anzuwenden, nämlich

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2}\right)} \quad \ldots \ldots \quad \text{I.}$$

indem für den mittleren Theil der entsprechende Werth für $\frac{e_1}{C_1}$ einzusetzen wäre.

Die durch diesen mittleren Theil transmittirte Wärmemenge ist, wenn beim Beharrungszustande die Temperaturen der Begrenzungsflächen dieses Theils mit x und x_1 bezeichnet werden, wie aus früheren Darlegungen hervorgeht:

$$M = \frac{C_1}{e_1}\,(x - x_1) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1$$

Wenn aber der Hohlraum nicht ausgefüllt ist, und die Luft sich darin leicht bewegen kann, was bei der leichten Verschieblichkeit der Lufttheilchen schon bei sehr geringer Weite des Hohlraums der Fall ist, so dass Strahlung und Luftberührung auf Wärmeübertragung wirken, so kann man als die einerseits aufgenommene und andererseits emittirte Wärmemenge setzen

$$M = (K + K_1)\,(x - x_1)$$

oder

$$M = Q\,(x - x_1) \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2$$

In der weiteren Entwickelung zum Zwecke der Elimination der unbekannten Temperaturen ändert sich alsdann weiter Nichts, als dass gesetzt wird:

$$Q \text{ anstatt } \frac{C_1}{e_1}, \text{ folglich}$$

$$\frac{1}{Q} \text{ anstatt } \frac{e_1}{C_1}.$$

Da man hiebei zugleich für den zweiten Mauertheil nicht $\frac{e_2}{C_2}$, sondern $\frac{e_1}{C_1}$ setzen wird, so ist die pro Quadratmeter und Stunde übergeführte Wärmemenge bei Anwendung eines mit Luft gefüllten Hohlraumes:

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{1}{Q} + \frac{e_1}{C_1}\right)} \quad \ldots \ldots \quad \text{II.}$$

Bei drei Mauertheilen, welche durch zwei Hohlräume getrennt sind (Fig. 215), wird

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{1}{Q} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{1}{Q} + \frac{e_2}{C_2}\right)}$$

Fig. 215.

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{2}{Q} + \frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2}\right)}$$

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{4 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{e_1}{C_1} + \frac{e_2}{C_2}\right)} \quad . \; . \; \text{III.}$$

Wenn n Mauertheile von gleicher Dicke e und von gleicher Wärmeleitungsfähigkeit C und $n - 1$ Luftschichten vorhanden sind, wird

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left[n \,.\, \frac{e}{C} + (n - 1) \,.\, \frac{1}{Q}\right]}$$

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + \frac{n\,Q\,e}{C} + n - 1}$$

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{1 + n + \frac{n\,Q\,e}{C}} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; \text{IV.}$$

Den Vortheil der Hohlräume oder Luftschichten erkennt man schon aus der Ueberlegung, dass die übergeführte Wärmemenge M kleiner wird, wenn $\frac{e}{C}$ oder $\frac{1}{Q}$ wächst. Nun ist bei Anwendung von Backsteinen für die Dicke $e = 0{,}02$ m und $C = 0{,}69$ der Quotient

$$\frac{e}{C} = \frac{0{,}02}{0{,}69} = \frac{1}{34{,}5}$$

Bei dichten Kalksteinen von gleicher Dicke e und dem Wärmeleitungscoëfficienten $C = 2$ wäre sogar

$$\frac{e}{C} = \frac{0{,}02}{2} = \frac{1}{100}$$

Dagegen wäre für den Luftraum ohne Unterschied der Weite bei etwa 4 Meter Höhe

$$\frac{1}{Q} = \frac{1}{K + K_1} = \frac{1}{3{,}60 + 2{,}08} = \frac{1}{5{,}68}$$

Diese Quotienten

$$\frac{1}{34{,}5} \text{ und } \frac{1}{100} \text{ gegenüber } \frac{1}{5{,}68}$$

bezeichnen die Widerstände gegen den Wärmedurchgang in dem betrachteten mittleren Theile. Es ist aber zu beachten, dass die überhaupt übergeführten Wärmemengen nicht geradezu im umgekehrten Verhältniss dieser Werthe stehen, weil die letzteren in der Formel nur als Summanden auftreten.

§. 193.

Anwendung der Emissions- und Transmissionsformeln auf einfache und vielfache Fenster.

Es ist Jedem bekannt, dass die Sonnenwärme wie das Sonnenlicht das Glas durchdringt; allein hier hat man es mit dunklen Wärmestrahlen zu thun, welche nicht durch das Glas gehen. Die Fensterscheiben werden folglich einerseits durch die Strahlung der inneren Gegenstände und durch Berührung mit warmer Luft erwärmt, andererseits durch die ähnlichen Ursachen abgekühlt. Sie verhalten sich also wie andere Umschliessungsflächen, und die obigen Formeln lassen sich auf sie anwenden. Auf Grund dieses Verhaltens ist bereits in §. 191 gezeigt, dass bei Glasscheiben die einfache Formel (8 (Seite 567) zulässig ist, nämlich, wenn man hier die übergeführte Wärmemenge pro Quadratmeter und Stunde für eine Scheibe mit M_1 bezeichnet:

$$M_1 = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2}$$

Für doppelte Fensterscheiben könnte man die obige Formel II. (§. 192) anwenden, nämlich:

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{e}{C} + \frac{1}{Q} + \frac{e_1}{C_1}\right)}$$

wobei in der Regel zu setzen wäre

$$\frac{e_1}{C_1} = \frac{e}{C}$$

Nach Péclet kann man nun, da die beiden Flächen einer jeden Scheibe nahezu gleiche Temperatur haben, und es dabei auf die Dicke nicht ankommt, diese Dicke beliebig klein, also auch e, e_1 u. s. w. gleich Null setzen.

Alsdann ergeben sich die folgenden Werthe der übergeführten Wärmemengen pro Quadratmeter und Stunde:

bei zwei Fensterscheiben:

$$M_2 = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{1}{Q}\right)} = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + 1}$$

bei **drei** Fensterscheiben

$$M_3 = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{2}{Q}\right)} = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + 2}$$

bei n Fensterscheiben:

$$M_n = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q\left(\frac{n-1}{Q}\right)} = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + n - 1}$$

$$M_n = \frac{Q\,(T - \Theta)}{n + 1}$$

Es verhalten sich demnach die Wärmemengen, welche durch die 1, 2, 3, . . . n Scheiben übergehen,

$$M_1 : M_2 : M_3 \ldots\ldots : M_n = \frac{1}{2} : \frac{1}{3} : \frac{1}{4} \ldots\ldots : \frac{1}{n+1}$$

Der Wärmeverlust ist also bei 2 Scheiben $^2/_3$, bei 3 Scheiben $^2/_4 = {}^1/_2$ von jener, welche durch eine einzige Scheibe stattfindet. Nach Ferrini*) würde sich der Wärmedurchgangscoëfficient bei Doppelfenstern sogar auf die Hälfte, bei dreifachen Fenstern auf das Drittel des für einfache Fenster gültigen reduciren.

§. 194.

Anwendung auf die Berechnung der Wärmeverluste in Wohnräumen.

In der Praxis findet man häufig das unzweifelhafte Resultat, dass die Wärmeverluste durch Transmission und Emission viel grösser sind, als solche unmittelbar nach den gegebenen Formeln und Coëfficienten berechnet werden. Mancherlei Ursachen dieser mangelhaften Uebereinstimmung der Theorie und Praxis sind bereits angegeben. Dessenungeachtet bleiben jene Formeln und Coëfficienten werthvoll; aber man muss die verschiedenen Verhältnisse der Anwendung berücksichtigen, also für Heizzwecke, da die Heizapparate unter den ungünstigsten Umständen genügen müssen, auch diesen ungünstigen Umständen die ver-

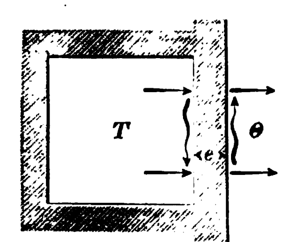
---

*) Rinaldo Ferrini, Technologie der Wärme. Deutsch von Schröter. Jena 1878. S. 66.

änderlichen Coëfficienten anpassen, wobei man allerdings auf praktische Schätzungen angewiesen ist.

Nicht sowohl um allgemein anwendbare Resultate mitzutheilen, als vielmehr um Beispiele, für die nach Massgabe der Umstände vorzunehmenden Modificationen der Coëfficienten zu geben, sollen hier die wesentlichsten Fälle der Anwendung besprochen werden.

Fig. 216.



Für die gewöhnlich ausgeführten **vollen Mauern** (Fig. 216) ist die Formel 7 (§. 191 S. 567) anzuwenden, nämlich

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2 + Q \cdot \frac{e}{C}}$$

Darin bedeutet:

M die durch eine Wandfläche von 1 qm in einer Stunde nach aussen übergehende Wärmemenge in Calorien;

T die Innentemperatur;

Θ die Aussentemperatur, beziehungsweise die auf Seite des kälteren Raumes;

Q die Summe aus dem Strahlungswerthe K (Tabelle I S. 555) und dem Coëfficienten der Luftberührungsemission, K_1 (Tabelle V S. 560);

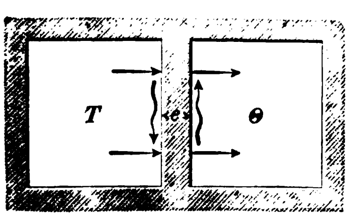
C die Wärmeleitungsfähigkeit des Materials (Tabelle VI S. 562), mit anderen Worten die Wärmemenge, welche in einer Stunde durch ein Prisma des Materials von 1 Meter Länge und 1 Quadratmeter Querschnitt bei einer Temperaturdifferenz von 1° C. der Begrenzungsflächen hindurchgehen würde;

e die Mauerdicke.

Die Temperaturdifferenz $(T - \Theta)$ soll gleich 1° C. angenommen werden, so dass in den folgenden Fällen für M der mit m zu bezeichnende Coëfficient des Wärmeübergangs erhalten wird. Es ist also allgemein

$$m = \frac{Q}{2 + Q \cdot \frac{e}{C}}$$

Fig. 217.



Vorerst sollen **günstige** Verhältnisse angenommen werden. (Fig. 217.) Die Mauer sei Trennungskörper eines warmen und kalten Raumes von 3 m Höhe, beide Räume seien geschlossen, die beiderseitigen Tempe-

raturen seien constant und in der ganzen Höhe der Räume sehr gleichmässig, unregelmässige Luftbewegungen sollen nicht vorkommen; auch seien die Wandflächen trocken.

Der Strahlungscoëfficient K ist für Bausteine u. dgl. 3,6, für Oelfarbanstrich, Tapetenbekleidung u. dgl. ist $K =$ 3,71 bis 3,77; es werde also gesetzt

$$K = 3{,}77$$

Der Coëfficient K_1 der Luftberührungsemission ist bei 3 m Höhe

$$K_1 = 2{,}13$$

Folglich wäre

$$Q = K + K_1 = 3{,}77 + 2{,}13 = 5{,}90$$

wofür gesetzt werden soll

$$Q = 6.$$

Besteht die Mauer aus Backsteinen mittlerer Qualität, so ist der Wärmeleitungscoëfficient

$$C = 0{,}6$$

Demnach wird

$$m = \frac{6}{2 + 6 \cdot \frac{e}{0{,}6}} = \frac{3}{1 + 5 \cdot e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1$$

Bei hart gebrannten Backsteinen mit dem Wärmeleitungscoëfficienten

$$C = 0{,}7$$

wird die Formel:

$$m = \frac{6}{2 + 6 \cdot \frac{e}{0{,}7}} = \frac{3}{1 + 4{,}3 \cdot e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2$$

Für Sandsteine wäre im Mittel

$$C = 1{,}3$$

folglich

$$m = \frac{6}{2 + 6 \cdot \frac{e}{1{,}3}} = \frac{3}{1 + 2{,}3\, e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3$$

und für dichte Kalksteine

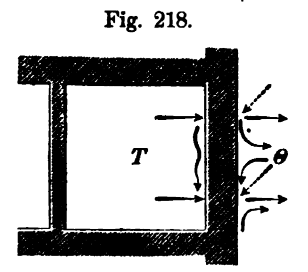
$$C = 2$$

$$m = \frac{6}{2 + 6 \cdot \frac{e}{2}} = \frac{6}{2 + 3 \cdot e} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4$$

Die nach vorstehenden vier Formeln für verschiedene Mauerdicken berechneten Werthe sollen nachher nebst den jetzt für ungünstige Umstände aufzusuchenden zusammengestellt werden.

Die betrachtete Mauer sei eine dem Wetter ausgesetzte Aussenmauer. (Fig. 218.) Die Aussenfläche sei durch anschlagenden Regen oder durch Condensation von Luftfeuchtigkeit nass; dann wird, weil der Strahlungscoëfficient des Wassers = 5,31 wäre, auch wenn die Innenseite ziemlich trocken ist, der Coëfficient

Fig. 218.



$$K = 5$$

gerechtfertigt sein.

Der Emissionscoëfficient der Luftberührung sollte nach den früheren Darlegungen mit der Höhe abnehmen. Allein in der Anwendung auf den vorliegenden Fall verhält sich die Sache anders. In Bezug auf die innere Wandfläche des geheizt angenommenen Raumes tritt die Höhe nicht günstig, sondern ungünstig auf, weil die gewünschte Temperatur für die unteren Luftschichten vorhanden sein muss, in geheizten Räumen aber in der Regel die Temperatur der oberen Luftschichten bedeutend höher ist als die der unteren und um so höher, je höher der Raum. In Bezug auf die äussere Mauerfläche kann nicht angenommen werden, dass die kalte Luft dicht an der wärmeren Fläche, sich selbst immer mehr erwärmend, regelmässig emporfliesse; vielmehr führen die äusseren Luftbewegungen beständig neue kalte Luft oben wie unten gegen die wärmere Mauerfläche, welcher folglich, da sie nach Massgabe der inneren Temperaturungleichheit oben wärmer ist als unten, auch oben mehr Wärme entzogen wird. Man wird unter solchen Umständen den Coëfficienten K_1, welcher in der Tabelle V den Werth 4 noch nicht erreicht, grösser annehmen müssen, und es mag gesetzt werden

$$K_1 = 5$$

Dann ist also

$$Q = K + K_1 = 5 + 5 = 10$$

Der Wärmeleitungscoëfficient C soll für die verschiedenen Materialien wieder wie oben eingeführt werden. Es ergeben sich nun nach der allgemeinen Formel

$$m = \frac{Q}{2 + Q \cdot \frac{e}{C}}$$

folgende speciellen Berechnungsformeln:

Für mittelhartes Backsteinmauerwerk mit dem Coëfficienten $C = 0{,}6$:

$$m = \frac{10}{2 + 10 \cdot \frac{e}{0,6}} = \frac{5}{1 + 8,33 \cdot e} \quad \ldots\ldots (5$$

Für hart gebrannte Backsteine mit dem Coëfficienten $C = 0,7$:

$$m = \frac{10}{2 + 10 \cdot \frac{e}{0,7}} = \frac{5}{1 + 7,1 \cdot e} \quad \ldots\ldots (6$$

Für Sandsteine mit dem Coëfficienten $C = 1,3$:

$$m = \frac{10}{2 + 10 \cdot \frac{e}{1,3}} = \frac{5}{1 + 3,85 \cdot e} \quad \ldots\ldots (7$$

Für Kalksteine mit dem Coëfficienten $C = 2$:

$$m = \frac{10}{2 + 10 \cdot \frac{e}{2}} = \frac{5}{1 + 2,5 \cdot e} \quad \ldots\ldots (8$$

Nach den Formeln (1 bis (8 sind die Coëfficienten des Wärmeverlustes in der folgenden Tabelle berechnet.

Tabelle VII.

Wärmeverluste in Calorien durch Platten oder Mauern pro Quadratmeter und Stunde bei 1° C. Temperaturdifferenz.

	Dicke in Meter:	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Gegen Wind und Regen geschützt	Backsteine mittelhart	2,00	1,50	1,20	1,00	0,87	0,75	0,66	0,60	0,55	0,50
	Backsteine hart gebrannt . . .	2,10	1,61	1,31	1,10	0,95	0,84	0,75	0,68	0,62	0,57
	Sandsteine . . .	2,44	2,06	1,78	1,56	1,39	1,26	1,15	1,06	0,98	0,91
	Kalksteine . . .	2,61	2,31	2,10	1,90	1,71	1,58	1,46	1,36	1,28	1,20
Dem Wind und Regen ausgesetzt	Backsteine mittelhart	2,72	1,88	1,43	1,16	0,97	0,83	0,73	0,65	0,60	0,53
	Backsteine hart gebrannt . . .	2,94	2,08	1,61	1,32	1,11	0,96	0,85	0,76	0,69	0,62
	Sandsteine . . .	3,62	2,82	2,32	1,97	1,71	1,51	1,35	1,23	1,12	1,03
	Kalksteine . . .	4,00	3,33	2,86	2,50	2,22	2,00	1,82	1,66	1,54	1,43

Für einfache Fenster ist oben die Formel entwickelt

$$M = \frac{Q\,(T - \Theta)}{2}$$

welche für 1° C. Temperaturdifferenz geschrieben werden kann

$$m = \frac{Q}{2} = \frac{K + K_1}{2}$$

Nach den Tabellen ist der Strahlungs-Coëfficient für Glas

$$K = 2{,}91$$

und bei 2 m Höhe, als der gewöhnlichen Fensterhöhe, der Emissions-coëfficient der Luftberührung

$$K_1 = 2{,}21$$

Demnach wäre der Coëfficient des Wärmeverlustes

$$m = \frac{2{,}91 + 2{,}21}{2} = \frac{5{,}12}{2} = 2{,}56 \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; (9$$

Dieser Werth, oder der abgerundete

$$m = 2{,}6$$

mag für innere Fenster zwischen zwei geschlossenen Räumen, z. B. zwischen Küchen und Kammern, Zimmern und geschlossenen Vorplätzen u. dgl. gelten, für die äusseren Fenster ist er bei ungünstigen Umständen zu klein. Da die ungünstigen Einflüsse von Wind, Regen und Condensationswasser in ähnlicher Weise wie oben bei den Mauern erwähnt, auch hier auftreten, so ist nach Umständen Q von 5,12 auf 6 bis 8 zu erhöhen, so dass der Wärmeverlust durch 1 Quadratmeter einfache Fenster stündlich bei 1° C. Temperaturdifferenz werden kann

$$m = 3 \text{ bis } 4 \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (10$$

Welcher dieser Werthe, oder welcher Zwischenwerth zu wählen ist, dieses wird man davon abhängig machen, in welchem Grade die Fenster eine geschützte oder freie Lage haben.

Für Doppelfenster haben die obigen Untersuchungen (§. 193) auf den Werth $^2/_3$ des Wärmeverlustes der einfachen Fenster geführt. Indessen ist der Werth $^1/_2$ sicherlich der Wirklichkeit besser entsprechend, weil die ungünstigen Einflüsse, welche bei dem äusseren der doppelten Fenster die Erhöhung des Coëfficienten Q wie bei dem einfachen Fenster begründen, nicht ebenso bei dem inneren Fenster vorhanden sind. Die Luftbewegungen sind an diesem viel geringer und regelmässiger, und Niederschläge von Condensationswasser kommen an den inneren der doppelten Fenster, wenn für gute Ventilation gesorgt ist, nicht leicht vor. Demnach wird man sich von der Wahrheit nicht weit entfernen, wenn man für Doppelfenster, je nach den Situationsverhältnissen setzt

$$m \quad 1{,}5 \text{ bis } 2 \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (11$$

In ähnlicher Weise lassen sich für andere Bautheile die Wärmeverluste berechnen. So findet man diese pro Quadratmeter und Stunde bei 1° C. Temperaturdifferenz je nach der Constructionsweise und den variabeln Dimensionen und Umständen specieller Benützung u. s. w. in abgerundeten Coëfficienten:

bei Zimmerfussböden	0,4	bis	0,6
„ Zimmerdecken	0,5	„	0,7
„ Zimmerthüren	1,3	„	1,5

In Zweifelfällen ist es wegen der grösseren Sicherheit des Gelingens einer Heizanlage gerathen, die höchsten Coëfficienten zu benützen.

Man möge auch nicht übersehen, dass die obigen Coëfficienten sich sämmtlich nur auf die Wärmeverluste durch Transmission und Emission, die man kurzweg „Transmissionsverluste" zu nennen pflegt, beziehen und nur für den Beharrungszustand gelten. Beim Beginn einer jeden Heizung ist zuerst, bevor der Beharrungszustand eintritt, eine verhältnissmässig grosse Menge von Wärme zu erzeugen, welche die Erwärmung der Mauern und übrigen kalten Gegenstände bewirkt. Diese Wärmemenge lässt sich nach der Wärmecapacität des Materials berechnen. Ausserdem entstehen noch bedeutende Wärmeverluste durch den zufälligen und absichtlich herbeigeführten Luftwechsel, und diese lassen sich, soweit der zufällige Luftwechsel durch Fugen und Risse an Thüren und Fenstern, durch Mauerporen u. dgl. stattfindet, oft kaum annähernd durch Rechnung ermitteln. Daraus ist klar, dass die Anstellung ängstlich genauer Transmissionsberechnungen wenig nützen würde, dass man aber um so mehr berechtigt ist, die grösseren Coëfficienten zu benützen und überhaupt bei Vorberechnungen die ungünstigsten Umstände vorauszusetzen.

Im Obigen sind zum Theil sehr ungünstige, doch nicht die möglichst ungünstigen Umstände vorausgesetzt. Es ist bei den Mauern zwar auf äussere Nässe der Emissionsflächen Rücksicht genommen, aber der Wärmeleitungscoëfficient C für trockenes Material nach der Tabelle eingesetzt. Dieser Coëfficient kann zuweilen grösser sein, sowohl wegen anderer Beschaffenheit des Materials, als auch wegen Durchfeuchtung der Mauern.

§. 195.

Arten und Werthe der Heizflächen.

Heizfläche heisst eine Heizgefäss-Wandung, welche den Zweck hat, Wärme von der einen Seite her aufzunehmen und nach der anderen

Seite hin abzugeben. Die Wandung ist hierbei grösstentheils auf beiden Seiten mit ungleich warmen Flüssigkeiten in Berührung gedacht, welche wasserförmig oder luftförmig, beide gleichartig oder ungleichartig — Wasser, Dampf, Rauch, Luft — sein können.

Bei den Feuerungsanlagen besteht die totale Heizfläche aus directen und indirecten Heizflächen. Die Wärmeaufnahme kann nämlich erfolgen:

1) Durch Wärmestrahlung, welche von dem glühenden Brennmaterial oder der Flamme ausgeht, sowie auch durch Leitung von dem dicht an einer Heizfläche liegenden Brennmaterial; in diesen Fällen heisst die Heizfläche eine directe Heizfläche;

2) Durch Wärmeleitung in Folge der Berührung mit heissen Verbrennungsgasen; dann heisst die Heizfläche eine indirecte. Ebenso heisst sie auch, wenn sie durch Bestrahlung von anderen festen Körpern erwärmt wird, welche durch Berührung mit den heissen Gasen oder durch die Herdstrahlung erwärmt sind, z. B. eine durch Bestrahlung von erhitztem Mauerwerk bei einer Dampfkesselfeuerung erhitzte Kesselfläche.

Die Wärmeabgabe erfolgt gleichfalls sowohl durch Strahlung als durch Berührung, Leitung.

Für die Wärmeaufnahme, wie für die Wärmeabgabe, und zwar in Hinsicht auf Strahlung wie Berührung, ist es offenbar ein ungünstiger Umstand, wenn die Oberflächen mit Staub, Russ, Asche bedeckt sind; sie sollen rein sein. Damit ist aber nicht gesagt, dass sie glatt sein sollen. Rauhe Oberflächen wirken besser als glatte, indem durch Rauhheiten die Strahlungs- und Berührungsflächen vergrössert werden. Dass die Strahlungscoëfficienten bei gewöhnlichen Metallen grösser sind als bei polirten und noch grösser bei oxydirten, das ist bereits in §. 187 Tabelle I. angegeben. Doch muss eine starke Oxydschicht die Wärmeleitung vermindern.

Mit Rücksicht auf die sehr verschiedene Wärmeleitungsfähigkeit und specifische Wärme der wasserförmigen und luftförmigen Flüssigkeiten ist es erklärlich, dass der Wärmeübergang bei derselben Heizfläche in gleichen Zeiten verschieden gross ist, je nachdem die Wärme abgebende oder empfangende Flüssigkeit Wasser, Dampf oder Luft ist. Bei einfach gebildeten Wandungen hat Redtenbacher folgende Werthe gefunden.

Die Wärmemengen, welche in einer Stunde bei 1° C. Temperaturdifferenz beider Flüssigkeiten durch 1 Quadratmeter Wandfläche übergehen, betragen:

a) aus Luft durch eine Wand von gebrannter Erde von 1 cm Dicke in Luft (Thonofenheizung) $k =$ 5 Calorien

b) aus Luft durch eine Wand von Gusseisen von 1 bis 1,5 cm Dicke in Luft . . . . $k = 14$ Calorien

c) aus Luft durch eine Wand von Eisenblech in Luft . . . . $k = 7$ „

d) aus Luft durch eine Wand von Eisenblech in Wasser oder aus Wasser in Luft (Dampfkesselheizung) . . . . $k = 23$ „

e) aus Dampf durch eine Wand von Gusseisen in Luft (Dampfheizung) . . . . $k = 12$ „

Leider ist es unbekannt, auf welche Weise Redtenbacher diese Resultate ermittelt hat. Vermuthlich beziehen sich die für Gusseisen und Eisenblech angegebenen Werthe auf indirecte Heizflächen horizontaler cylindrischer Röhren und würden bei gleichzeitiger Bestrahlung der Heizfläche vom Feuerherde aus, sowie auch bei verticaler Stellung der Röhren und bei anderen Röhrenformen grösser sein, bei gewissen Röhrenformen auch kleiner.

Ferner ist aus den Redtenbacher'schen Angaben nicht unmittelbar zu entnehmen, ob die angegebenen Wärmemengen pro Quadratmeter der äusseren oder inneren Fläche, beziehungsweise pro Quadratmeter der von der dichteren oder dünneren Flüssigkeit berührten Fläche gelten. Dieses ist nicht immer ohne Belang, da bei engen cylindrischen Gefässen oder Röhren von verhältnissmässig grosser Wanddicke die Differenz zwischen der inneren und äusseren Fläche zu gross wird, als dass solche unberücksichtigt bleiben dürfte.

Es ist jedoch mit ziemlicher Sicherheit anzunehmen, dass die Coëfficienten pro Quadratmeter der mit der dichteren Flüssigkeit in Berührung stehenden Fläche gelten sollen. Redtenbacher selbst bezieht zwar in seinen Anwendungen den „Wärmedurchgangscoëfficienten" $k = 23$ pro Quadratmeter bei der Dampfheizung auf die Oberfläche, Heizfläche des Kessels, bei der Niederdruckwasserheizung ebenso auf die Heizfläche des Kessels und auf die Oberfläche der Wärmeröhren, bei der Hochdruckwasserheizung dagegen auf die innere Fläche der Ofenschlange und auf die inneren Flächen der Wärmeröhren.

Da aber in den ersteren Fällen wegen grosser Durchmesser und verhältnissmässig kleiner Wanddicken der Unterschied der äusseren und inneren Flächen gering ist, nicht so dagegen in den letzteren bei kleinem Durchmesser und verhältnissmässig grosser Wanddicke, so wird anzunehmen sein, dass Redtenbacher den Wärmedurchgangscoëfficienten 23 für das Quadratmeter der vom Wasser berührten Fläche, soweit sie der von der Luft berührten gegenübersteht, gefunden hat, aber wegen

einfacherer Berechnung die Einführung der von der Luft berührten Oberflächen für zulässig hielt, wo diese nur unbedeutend grösser sind, als die gegenüberliegenden vom Wasser berührten Innenflächen. Dieses ist um so wahrscheinlicher, weil die Wärmedurchgangscoëfficienten überhaupt nicht mit aller Exactheit, sondern nur als Näherungswerthe angegeben werden können.

Um zu zeigen, von welchem Einfluss die Lage der Heizflächen ist, mögen hier einige Angaben von P. Käuffer mitgetheilt werden*).

Auf Grund Péclet'scher Versuche und weiterer Käuffer'scher Beobachtungen sollen für die Wärmeabgabe an Luft pro Stunde und Quadratmeter bei gusseisernen Oberflächen, wenn der Ueberschuss der Temperatur dieser Oberfläche über jene der Umgebung 1° C. beträgt, folgende Werthe als für die Praxis genügend genau anzunehmen sein:

für eine untere horizontale Fläche . . . $k = 16$
„ „ obere „ „ . . . $k = 4$
„ „ verticale ebene Fläche . . . . $k = 14$
„ „ untere Cylinderfläche . . . . $k = 16$
„ „ obere Cylinderfläche . . . . . $k = 8$
„ „ ungefähr unter 60° zum Horizont geneigte ebene obere Fläche . . $k = 11$
„ „ verticale Cylinderfläche bis 20 cm Durchmesser bei geringer Höhe . $k = 17$

Mit Benützung dieser Werthe würden sich, wenn man von anderweitigen Einflüssen absieht, welche die Regelmässigkeit der Berührung der Luft mit den Heizflächen begünstigen oder vermindern, für horizontale gusseiserne Leitungen von der in den Figuren 219 bis 225 dargestellten Querschnitten die nachstehendeu Durchschnittswerthe für die Wärmeüberführungscoëfficienten ergeben.

Die Umfänge der sämmtlichen Querschnitte seien gleich gross; dann berechnen sich pro Quadratmeter Gesammtoberfläche die Coëfficienten nach den Verhältnissen der Einzelflächen und Einzelcoëfficienten.

Für die kastenförmige Röhre (Fig. 219) ist bei quadratischem Querschnitt:

$$k = \frac{16 + 4 + 14 + 14}{4} = \frac{48}{4} = 12$$

Für die Röhre von rechteckigem Querschnitt, in welchem sich die Breite zur Höhe wie 2 zu 3 verhält (Fig. 220):

*) Rohrleger 1878 Nr. 22, 23, 24.

$$k = \frac{2 \,.\, 16 + 2 \,.\, 4 + 6 \,.\, 14}{10} = 12{,}4$$

Bei dem rechteckigen Querschnitt mit dem Verhältniss 1 : 4 (Fig. 221):

$$k = \frac{1 \,.\, 16 + 1 \,.\, 4 + 8 \,.\, 14}{10} = 13{,}2$$

Fig. 219.

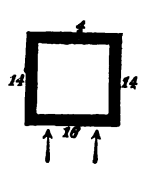


Fig. 220.

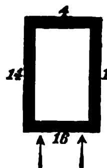


Fig. 221.

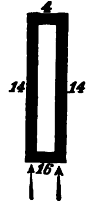


Fig. 222.

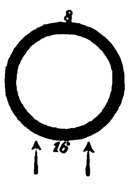
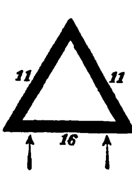


Fig. 223.



Für den horizontalen Kreiscylinder (Fig. 222):

$$k = \frac{16 + 8}{2} = 12$$

Für die Röhre deren Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck ist bei horizontaler Basis (Fig. 223):

$$k = \frac{16 + 11 + 11}{3} = 12{,}66$$

Fig. 224. Fig. 225.

Für die Röhre (Fig. 224) unten cylindrisch und oben symmetrisch von geneigten Ebenen geschlossen:

$$k = \frac{2 \,.\, 16 + 11 + 11}{4} = 13{,}5$$

Für Fig. 225, das hohe Rechteck mit oberer und unterer halbkreisförmiger Abrundung, wenn sich die halbkreisförmigen Oberflächen zu den ebenen verticalen wie 3 : 7 verhalten:

$$k = \frac{3 \,.\, 16 + 3 \,.\, 8 + 7 \,.\, 14 + 7 \,.\, 14}{20} = 13{,}4$$

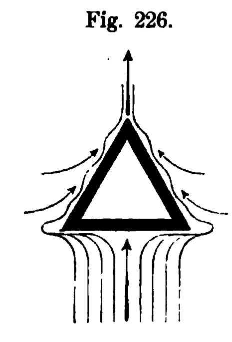
Käuffer berechnet jedoch für diese Querschnittsformen — mit Ausnahme der kreisförmigen — kleinere Durchschnittswerthe, indem er die Ablenkungen, welche die an den unteren Flächen abfliessende Luft erleidet, und die Luftverdünnung über den oberen Theilen berücksichtigend nicht die vollständigen verticalen und schrägen Flächen für die Wärmeübertragung in Rechnung stellt, sondern kleine Theile nach

Schätzung davon ausschliesst. Dadurch findet er anstatt der vorhin berechneten Wärmeübertragungsfähigkeiten der Reihe nach die folgenden:

$$k = 10{,}38;\ \ 11{,}56;\ \ 12{,}78;\ \ 12{,}00;$$
$$11{,}33;\ \ 12{,}80;\ \ 13{,}37.$$

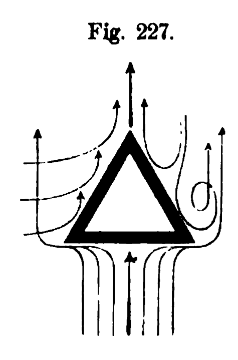
Es ist bereits in den Paragraphen 74 und 130 gezeigt worden, dass die rechtwinkelig gegen eine ebene Fläche geblasene Luft an den Kanten in der Richtung der Fläche abgelenkt wird, und dass dabei hinter, beziehungsweise über jener Fläche absolute Luftverdünnung entsteht; dass ferner an stetig gekrümmten convexen Flächen ein Luftstrom wenig abgelenkt wird, mehr die Krümmung verfolgt. Die Grösse der Ablenkung und die Intensität der Luftverdünnung sind von der Geschwindigkeit abhängig, mit welcher die Luft die Flächen trifft und verlässt. Bei den kleinen Geschwindigkeiten, mit welchen die Luft bei gewöhnlichen Heizungsanlagen an die unteren Theile der Heizfläche gelangt, ist es wahrscheinlich, dass eine nur geringe Ablenkung erfolgt und dass ein grosser Theil der abgelenkten Luft wieder an die oberen Heizflächen gelangt, wie es beispielsweise in Fig. 226 angedeutet ist. Dieses wird um so mehr dann gelten, wenn auch der Ueberschuss der Temperatur der unten erwärmten Luft über jener der oberen Umgebung nicht gross ist:

Fig. 226.



Ist aber diese Temperaturdifferenz gross und wird die Luft mit bedeutender Geschwindigkeit gegen die untere Fläche geführt, so ist die Ablenkung und Luftverdünnung grösser, und die abgelenkte heisse Luft gelangt nicht wieder gegen die schrägen Flächen, sondern wird sofort emporgehoben. Dabei können weder stagnirende Luftmassen noch luftleere Räume zwischen den aufsteigenden Luftströmen und den schrägen Flächen vorhanden sein, es entsteht daselbst absolute und relative Luftverdünnung, und in Folge davon gelangt kältere Luft von verschiedenen Seiten zu den schrägen Flächen, theils in der Richtung der Röhre von den Enden her, theils seitlich, die heissen Luftmassen stellenweise durchbrechend, theils auch von oben herab, wie in Fig. 227 angedeutet ist.

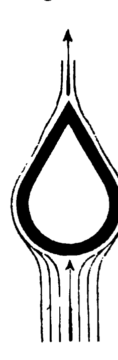
Fig. 227.



Auf diese Weise werden sich sehr unregelmässige Luftbewegungen bilden, die aber eine bessere Ausnützung der Wärme im Gefolge haben, weil

mehr kältere Luft mit den schrägen Flächen in Berührung kommt, und es dürfte danach wahrscheinlich sein, dass, abweichend von den oben angegebenen Zahlen, die Wärmeübertragungsfähigkeit der horizontalen Röhre von dreieckigem Querschnitt sogar grösser ist als die der oben ebenso gestalteten aber unten cylindrisch geschlossenen Röhre (Fig. 228), bei welcher die bereits unten erhitzte Luft die oberen Flächen mehr verfolgt; aber ihnen nur weniger Wärme entziehen kann. Dieser Fall wird ähnlich aufzufassen sein wie jener bei einer verticaler cylindrischen Röhre, wobei die obere Hälfte weniger zur Lufterwärmung beiträgt als die untere von kälterer Luft berührte Hälfte, in Folge dessen eine horizontale Röhre mit dem Coëfficienten 12 unter Umständen sogar eine grössere Wärmemenge überführen kann als eine sehr hohe verticale Röhre, für welche der Wärmeüberführungscoëfficient k bei 1° Temperaturdifferenz pro Quadratmeter und Stunde zu 16 bis 18 angenommen wird.

Fig. 228.



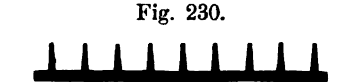
Ausgedehnte Anwendung finden in neuerer Zeit Rippenheizflächen. Ihr Nutzen in mehrfacher Hinsicht ist nicht zu verkennen, wird aber zuweilen überschätzt. Auch findet man Rippen sowohl am unrechten Orte als auch von unrationeller Construction in Anwendung.

Aus den oben gegebenen Mittheilungen über Transmission und Emission der Wärme mit Rücksicht auf die verschiedenen Dichtigkeiten und Wärmecapacitäten der heizenden und zu erwärmenden Flüssigkeiten ist klar, dass zuweilen mehr Wärme auf der einen Seite einer einfachen Wand aufgenommen werden kann, als die anderseitige Oberfläche abzugeben vermag. Daraus folgt unmittelbar die Nutzlosigkeit einer Vergrösserung der ersteren, dagegen die Zweckmässigkeit einer Vergrösserung der letzteren Oberfläche, und eine solche Vergrösserung kann im Allgemeinen durch Unebenheiten, z. B. durch sehr rauhen oder durch

Fig. 229.



Fig. 230.



verzierten Guss, durch wellenförmige Oberfläche (Fig. 229) noch besser durch angegossene Rippen erreicht werden (Fig. 230).

Auch hierüber hat Käuffer am angegebenen Orte schätzenswerthe Mittheilungen gemacht, unter Anderem folgende Zusammenstellung von Leistungen oder Wärmeüberführungscoëfficienten pro Quadratmeter Grundplattenfläche unter Annahme einer Plattendicke von 12 mm,

mit Beifügung des Gewichts von einem Quadratmeter, auf die Grösse der Grundplatte bezogen, und der stündlichen Leistungen für jeden Grad des Temperaturunterschieds bei gleichen Gewichten. Die Platten sind immer vertical gestellt, 1 m breit und 1 m hoch angenommen, die Rippen vertical laufend und in 45 mm Entfernung von Mitte zu Mitte, an der Basis 12 mm dick.

Tabelle VIII.

Leistungen gerippter und glatter Heizflächen.

Art der Heizfläche	Leistung pro qm Grundplatte	Gewicht	Leistung pro 100 kg
Platte mit 85 mm hohen Rippen	27,762	194 kg	14,31 Calorien
„ „ 45 „ „ „	22,184	144 „	15,40 „
„ „ 30 „ „ „	19,645	124 „	15,90 „
„ „ 20 „ „ „	17,909	111 „	16,10 „
Platte ohne Rippen	14,00	85,5 „	16,30 „
horizontale glatte Röhre . . .	12,00	85,5 „	14,00 „

Da hiernach für ein bestimmtes Gewicht die Platte ohne Rippen die grösste Leistung hat, so scheint es auf den ersten Blick nicht ökonomisch vortheilhaft, an den Heizflächen Rippen anzubringen. Es werden jedoch, wie Käuffer geltend macht, bei Rippenheizflächen die Wege kürzer, welche seitens des Wärme abgebenden Mittels zurückzulegen sind, und der Raum, den dieses einzunehmen hat, kann kleiner sein, wie auch der Raumbedarf des betreffenden Heizkörpers geringer wird.

Auch Professor Herm. Fischer in Hannover hebt die Zweckmässigkeit der Rippen für den Fall hervor, dass in kleinem Raume eine möglichst grosse Wärmemenge abgegeben werden soll, und empfiehlt sie ferner in den Fällen, wo Rippen die übergrosse Energie bei unmittelbar in Berührung mit dem Feuer stehenden Flächen ablenken sollen, um dem Erglühen vorzubeugen.

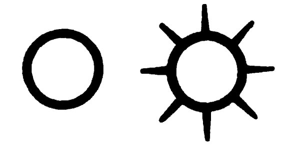
H. Fischer hat einen sehr wichtigen Beitrag zu diesem Gegenstande durch Publication „eigener Beobachtungen über die Wärmeabgabe von Heizflächen an Luft“ *) geliefert. Seine Beobachtungen beziehen sich zwar zunächst auf die Vergleichung glatter und gerippter Heiz-

*) Dingler's polytechnisches Journal 1878, Band 228, Heft 1.



flächen, doch verdienen sie auch in Bezug auf die genauere Feststellung der absoluten Werthe des Coëfficienten k Berücksichtigung.

Fig. 231. Fig. 232.



Fischer hat mit zwei gusseisernen Röhren experimentirt, welche 2,49 m lang waren und bei einem äusseren Durchmesser von 100 mm eine Weite von 80 mm hatten; sie waren derartig nach einem Modell gegossen, dass dieses einmal äusserlich glatt (Fig. 231) abgeformt worden war, das andere Mal mit acht Rippen, welche 45 mm hoch, hinten 10 mm, vorne 5 mm dick und an der dünneren Kante 2,21 m lang waren. Der Querschnitt dieser Röhre ist in Fig. 232 angedeutet.

Die Röhren wurden vertical sowohl in einem doppelten Bretterschacht als auch frei aufgestellt und durch eingeleiteten Dampf erhitzt. Die Wärmemengen wurden aus der Menge des condensirten Dampfes berechnet.

Für jeden Grad des Temperatur-Unterschieds zwischen Dampf und Luft ergab stündlich:

Die glatte Röhre im Schacht . .	16,1	Calorien
Die glatte Röhre frei	16,5	„
Die gerippte Röhre im Schacht . .	24,7	„
Die gerippte Röhre frei	27,0	„
Die glatte Röhre durchschnittlich .	16,3	„
Die gerippte Röhre durchschnittlich	25,85	„

Demnach gab die gerippte Röhre für eine Stunde und 1° Temperaturunterschied 9,55 Calorien mehr ab als die glatte Röhre.

„Die Oberfläche der glatten Röhre berechnet sich zu 0,9 qm, diejenige der gerippten Röhre zu 2,4 qm. Es ergaben daher, wenn die Wärmemenge für 1 qm Oberfläche, 1° Temperaturunterschied und 1 Stunde Dauer mit k bezeichnet wird,

die glatte Röhre: $k = 18{,}1$,
die gerippte Röhre: $k = 10{,}77$,

und wenn man die Flächen zwischen den Rippen als gleichwerthig mit denjenigen der glatten Röhre betrachtet,

die Oberfläche der Rippen: $k = 7{,}6$."

Das Verhältniss der Wärmeabgabe von der glatten Röhrenfläche und Rippenoberfläche war demnach

$$18{,}1 : 7{,}6 \text{ oder rund } 10 : 4{,}2 = 1 : 0{,}42$$

Die Rippenoberfläche leistete also bedeutend weniger als die Hälfte einer

gleich grossen glatten Röhrenfläche; die Temperatur einer Rippe nimmt natürlich mit den Entfernungen von der Rippenbasis ab, aber die Rippe wirkt auch auf zwei Seiten erwärmend, die glatte Röhrenwand nur auf einer Seite.

„Berechnet man nun den Gewichtszuwachs der Röhre durch Anbringung der Rippen und berücksichtigt, dass die Gewichtseinheit der glatten Röhre billiger herzustellen sein wird als diejenige der gerippten Röhre, so ergibt sich, dass die Anlagekosten für eine und dieselbe Wärmemenge bei gerippten Röhren höher sein werden als bei glatten, so lange nur von den Kosten des Wärme abgebenden Körpers die Rede ist. Anders gestaltet sich die Sache, wenn der geforderte Raum für Aufstellung desselben einen entsprechenden Werth hat, wenn also aus irgend einem Grunde der Erwärmer der Luft möglichst kleinen Raum einnehmen soll.“

Da Redtenbacher, wie aus seinen Anwendungen hervorgeht, unter der äusseren Temperatur nicht die in der Nähe der wärmenden Fläche, sondern jene des zu erwärmenden Raumes verstanden hat, so hat Fischer gleichfalls diese Temperatur in Rechnung gezogen und danach

für die glatte verticale Röhre $k = 17$

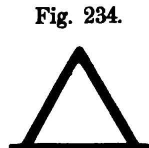
anstatt des oben angegebenen Werthes $k = 18{,}1$ gefunden. Der Redtenbacher'sche Werth $k = 12$, welcher vermuthlich für horizontale Röhren gelten soll, bietet nichts Widersprechendes, da bei verticalen Heizflächen eine lebhaftere Spülung der Luft längs der heissen Fläche stattfindet, als an der Wand einer liegenden Röhre.

So erklärt sich auch das Resultat eines anderen von Fischer angestellten Versuchs mit einer durch Dampf erhitzten Röhre mit mehreren Windungen über einander, einer sogenannten Heizschlange von 25 mm Weite und 35 mm äusserem Röhrendurchmesser, wobei sich der Werth $k = 13{,}7$ ergeben hat.

Die bezeichneten Mittheilungen Fischer's erstrecken sich ferner auch auf Heizflächen bei unmittelbarer Wärmeüberführung aus den Verbrennungsgasen in die Luft. Aus einigen mit Schachtöfen des Eisenwerks Kaiserslautern gewonnenen Heizresultaten berechnet er das Verhältniss der Wärmeabgabe von glatten Oberflächen und Rippenflächen annähernd als $10 : 3 = 1 : 0{,}3$, ein gegen das oben angegebene ungünstigeres Verhältniss, welches er daraus erklärt, dass die Rippen sich im letzteren Falle mehr auf ebenen Wänden befinden, ihre Oberflächen sich folglich gegenseitig mehr bestrahlen als bei einem Cylinder von kleinem Durchmesser mit radial stehenden Rippen.

Diese nachtheilige gegenseitige Bestrahlung, welche auch bei radialen Rippen noch in bedeutendem Grade stattfindet, lässt sich auf einfache Weise durch Blechstreifen verhindern, welche zwischen den einzelnen Rippen angebracht werden (Fig. 233).

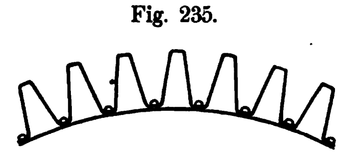
Fig. 233.



Nach vorstehenden Mittheilungen wird es nicht schwierig sein zu beurtheilen, welchen Werth einige — zum Theil patentirte — Neuerungen auf diesem Gebiete haben, wie angegossene Hohlrippen (Fig. 234), oder gar aufgenietete hohle Blechrippen (Fig. 235).

Fig. 234.

Fig. 235.



§. 196.

Anderweitige Unterscheidungen der Heizflächen.

Ausser den oben erwähnten Bezeichnungen verschiedener Heizflächen sind auch die folgenden in Anwendung: Gegenstrom-, Parallelstrom- und Nichtstrom- oder Kesselheizfläche, ferner Dampfheizfläche.

Bei der Gegenstrom-Heizfläche wird die zu erwärmende Flüssigkeit längs der Wandung nach einer Richtung hingeleitet, die jener des heissen Stroms entgegengesetzt ist; bei der Parallelstrom-Heizfläche ist die Bewegungsrichtung der zu erwärmenden Flüssigkeit dieselbe wie die des heissen Stroms. Nichtstromheizfläche wird zuweilen die Wandung genannt, wenn die zu erwärmende Flüssigkeit an allen Punkten der Wand nahezu dieselbe Temperatur hat. Weil dieses bei einem Dampfkessel der einfachsten Art der Fall ist, hat hiefür Redtenbacher die Bezeichnung Kesselheizfläche gebraucht. Weiss*) hat die Bezeichnung Nichtstromheizfläche gewählt, „weil eine Strömung des zu erwärmenden Körpers nicht anzunehmen ist, indem der Inhalt des Behälters, also die hinter der Heizfläche befindliche Masse so gross gedacht wird, dass ein Zu- und Abfliessen des zu erwärmenden Körpers eine beträchtliche Bewegung dieser Masse nicht hervorbringt."

*) Dr. Th. Weiss, Allgemeine Theorie der Feuerungsanlagen. Leipzig 1862.

Da bei Kesseln auch andere Heizflächen vorkommen und da ferner immerhin eine der beiden getrennten Flüssigkeiten nach bestimmter Richtung in Bewegung ist, also einen Strom bildet, so scheint mir die Bezeichnung Einstromheizfläche bezeichnender als Kesselheizfläche oder Nichtstromheizfläche zu sein.

„Diejenige Heizfläche, bei welcher nicht nur der zu erwärmende Körper, sondern auch das Heizgas von überall constanter Temperatur ist,“ wurde von Weiss Dampfheizfläche genannt, weil nur der Dampf als solches Heizgas gedacht werden könne.

Es scheint mir jedoch, dass man bei gewissen grösseren Heizgefässen, welche heisses Wasser enthalten, und auch bei solchen Oefen, welche vorzugsweise durch Strahlung vom Feuerherde aus erhitzt werden, wenn sie frei in einem verhältnissmässig grossen Raume angebracht sind, mehr diese letztere Heizfläche als eine der anderen haben wird; desshalb ziehe ich es vor, diese Kategorie als Nichtstromheizflächen zu bezeichnen.

Ich werde also im Folgenden nur die Bezeichnungen Gegenstrom-, Parallelstrom-, Einstrom- und Nichtstrom-Heizfläche in der angegebenen Bedeutung gebrauchen, indem ich der Nichtstromheizfläche gegenüber die drei anderen als Stromheizflächen zusammenfasse.

Wie man die Wärmemengen bestimmen kann, welche bei diesen verschiedenen Heizflächen transmittirt werden, oder auch die für eine verlangte Wärmemenge nothwendige Heizflächengrösse, soll in den nächsten Paragraphen gezeigt werden. Hier mag noch eine allgemein vergleichende Beurtheilung beigefügt werden, wobei jedoch die Nichtstromheizfläche, als unter anderen Verhältnissen auftretend, nicht in Vergleich zu ziehen ist.

Die vortheilhafteste Einrichtung einer Stromheizfläche ist im Allgemeinen diejenige, bei welcher die aus dem Brennmaterial entwickelte Wärme am vollständigsten ausgenützt wird, also die Verbrennungsgase am meisten abgekühlt werden. Die Temperatur, bis zu welcher möglicher Weise die Verbrennungsgase abgekühlt werden können, ist gleich derjenigen, welche in der zu erwärmenden Flüssigkeit an jener Stelle der Heizfläche vorhanden ist, wo die Verbrennungsgase die Heizfläche verlassen, also gewöhnlich nicht weiter benützt nach dem Schornstein entweichen. An dieser Stelle tritt gewöhnlich bei den Gegenstromapparaten die zu erwärmende, also noch kalte Flüssigkeit ein, die Verbrennungsgase werden folglich stark abgekühlt.

Bei der Einstromheizfläche sowie auch bei der Parallelströmung

können die Verbrennungsgase nur bis auf die Temperatur abgekühlt werden, welche die zu erwärmende Flüssigkeit erhalten soll. Diese Abkühlung der Verbrennungsgase erfolgt leichter bei der Parallelstromheizfläche, weil bei dieser doch die mittlere Temperatur der zu erwärmenden Flüssigkeit geringer ist, als bei der Einstromheizfläche, wo im Innern überall fast die gleiche Temperatur herrscht.

Daraus folgt, dass in Bezug auf die möglicher Weise erreichbaren Leistungen die Gegenstromheizfläche obenan steht, die Parallelstromheizfläche weniger und die Einstromheizfläche am wenigsten vortheilhaft ist.

Doch schwinden die Unterschiede der Wirkungen um so mehr, je geringer die Temperatur ist, auf welche die Flüssigkeit erwärmt werden soll, und in mancher Hinsicht ist sehr starke Abkühlung der Verbrennungsgase gar nicht erwünscht, vielmehr der Wärmegehalt der von der Heizfläche abziehenden Verbrennungsgase noch in anderer Weise vortheilhaft auszubeuten. Man darf also der Gegenstromheizfläche nicht unbedingt den Vorzug einräumen. Einige Anwendungen, von welchen später die Rede sein wird, werden dieses deutlicher erkennen lassen.

§. 197.

Berechnung des Wärmeübergangs bei Nichtstrom- und Strom-Heizflächen.

Es ist von Wichtigkeit, die Wärmemenge bestimmen zu können, welche bei einer jeden der genannten Heizflächen in einer gewissen Zeit durch die Trennungswand der Flüssigkeiten übergeführt wird. Darauf beruhen manche Einrichtungen bei Heizapparaten, und die Heizwirkungen derselben sind bei Entwürfen danach zu berechnen. Allgemeine Gleichungen hiefür werden im Folgenden aufgestellt.

I. Die Nichtstromheizfläche (Fig. 236).

Allgemeine Bezeichnungen:

T die Temperatur der Wärme abgebenden Flüssigkeit oder überhaupt die Temperatur des Raumes auf der wärmeren Seite der Wandung in Celsiusgraden;

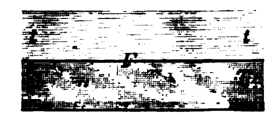
t die Temperatur der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit, oder überhaupt die Temperatur des zu erwärmenden Raumes;

k der Wärmeüberführungscoëfficient, d. h. die für je 1^0 C. Temperaturdifferenz pro Quadratmeter und Stunde übergehende Wärmemenge in Calorien;

F_n Die Grösse der Nichtstromheizfläche in Quadratmeter;
W_n die stündlich durch die Fläche F_n übergeführte Wärmemenge in Calorien.

Man darf hier auf Grund der obigen Untersuchungen über Transmission und Emission der Wärme annehmen, dass die in einer Stunde übergeführte Wärmemenge W_n proportional ist der Fläche F_n, der Temperaturdifferenz $(T - t)$ und dem Ueberführungscoëfficienten k, dass also die Gleichung besteht:

Fig. 236.



$$W_n = k\,(T - t)\,F_n \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1$$

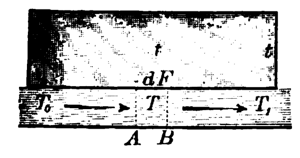
Der von der Natur der Heizfläche abhängige Werth für k ist nicht gleich dem Wärmeleitungscoëfficienten, welcher oben mit C bezeichnet worden ist, anzunehmen, sondern mit Rücksicht auf die Wärme-Emission durch Strahlung und Berührung, wobei aber die für das Medium Luft angegebenen Coëfficienten K und K_1 nicht auch für Wasser gelten können. Wo zuverlässigere Grundlagen hiefür fehlen, mögen die in § 195 S. 584 angegebenen Redtenbacher'schen Werthe benützt werden.

II. Die Stromheizflächen.

1. Die Einstrom-Heizfläche (Fig. 237).

Es sei t als Temperatur des kälteren Raumes constant und T als Temperatur des warmen Stroms variabel. Dieser habe am Anfang der Fläche F die Temperatur T_0, welche nach der Länge der Fläche abnehmen und am Ende derselben T_1 sein soll.

Fig. 237.



Betrachtet man irgend einen Theil des warmen Stromes zwischen zwei parallelen Querschnitten, etwa den Theil zwischen den Querschnitten A und B, so erkennt man, dass bei B die Temperatur geringer sein muss, als bei A. Ist aber der Theil AB unendlich schmal, so dass man den zwischen A und B liegenden Streifen der Fläche F als das Differential dieser Fläche mit dF bezeichnet, und ist bei A die Temperatur T vorhanden, so ist bei B die Temperatur unendlich wenig geringer, also $(T - dT)$. In dieser Differenz verschwindet die unendlich kleine Grösse dT gegen die endliche T und man hat für den Stromtheil AB die Temperatur T anzunehmen. Dann ist die unendlich kleine in einer Stunde durch die Fläche dF übergehende Wärmemenge

$$dW = dF \,.\, k\,(T - t) \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2$$

Diese übergehende Wärmemenge muss gleich sein derjenigen, welche aus dem warmen Strom verschwindet, während sich seine Temperatur um dT vermindert.

Ist P Kilogramm das Gewicht der in einer Stunde über die Fläche zwischen A und B hinfliessenden warmen Flüssigkeit und S ihre specifische Wärme, so ist jener Wärmeverlust des Stroms dargestellt durch

$$dW = P \, . \, S \, . \, dT \quad \ldots \ldots \ldots (3$$

Aus den Gleichungen (2 und (3 wird, wenn man in Bezug auf das Vorzeichen gleich berücksichtigt, dass mit dem Wachsen der Fläche F eine Verminderung der Temperatur T erfolgt, die weitere Gleichung:

$$dF \, . \, k \, (T - t) = - P \, . \, S \, . \, dT$$

oder, wenn man die Variabeln trennt:

$$dF \, . \, \frac{k}{P \, . \, S} = - \frac{dT}{T - t}$$

Dieses gilt für den unendlich schmalen Streifen dF bei der unendlich kleinen Temperaturänderung dT. Summirt man mittels Integration zwischen den bestimmten Grenzen, nämlich von o bis F, wobei dann F die ganze betrachtete Wärmeüberführungsfläche bedeutet, und von $T = T_o$ bis $T = T_1$, so ist

$$\frac{k}{P \, . \, S} \int_o^F dF = - \int_{T_o}^{T_1} \frac{dT}{T - t}$$

$$\frac{k}{P \, . \, S} F = \log nat \, (T_o - t) - \log nat \, (T_1 - t) \quad . \; . \; (4$$

Die Grössen P und S können durch Einführung der in einer Stunde übergehenden Wärmemenge W eliminirt werden; denn es ist

$$W = P \, . \, S \, . \, (T_o - T_1)$$

die von der wärmeren Flüssigkeit im Betrage von P Kilogramm, welche Menge für die Stunde angenommen worden ist, abgegebene Wärmemenge, während ihre Temperatur von T_o auf T_1 sinkt; danach ist

$$P \, . \, S = \frac{W}{T_o - T_1} \quad \ldots \ldots \ldots (5$$

Durch Substitution dieses Werthes in Gleichung (4 erhält man, wenn zugleich die Fläche anstatt mit F als Einstromheizfläche mit F_e bezeichnet wird:

$$F_e \, \frac{k \, (T_o - T_1)}{W} = \log nat \, (T_o - t) - \log nat \, (T_1 - t)$$

Daraus die in einer Stunde durch 1 Quadratmeter der Einstromheizfläche übergeführte Wärmemenge, welche anstatt mit W specieller mit W_e bezeichnet werden mag:

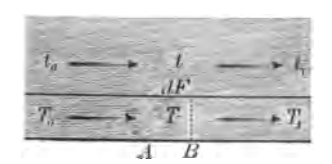
$$W_e = F_e\, k\,(T_o - T_1) : log\,nat\, \frac{T_o - t}{T_1 - t} \quad . \; . \; . \; (6$$

Dieses ist die allgemeine Gleichung für den Wärmeübergang bei der Einstromheizfläche.

2. Die Parallelstrom-Heizfläche (Fig. 238).

Während die Temperatur des warmen Stroms von T_o auf T_1 Grad Cels. abnimmt, soll die Temperatur des parallelen kälteren von t_o auf t_1 zunehmen. Die in einer Stunde durch das Flächenelement dF bei der Temperatur T des wärmeren und t des kälteren Stroms übergehende Wärmemenge ist wie bei der Einstromheizfläche allgemein

Fig. 238.



$$dW = dF\,.\,(T - t)\,.\,k \quad . \; . \; (7$$

Die in der gleichen Zeit aus der wärmeren Flüssigkeit entweichende Wärmemenge, als negativer Zuwachs aufgefasst, indem die Temperatur von T auf $T - dT$ übergeht, ist bei der Voraussetzung, dass dT dem Flächenelement dF entspricht, und wenn P die stündlich um dT abgekühlte Flüssigkeitsmenge in Kilogramm und S deren specifische Wärme bedeutet:

$$dW = -P\,.\,S\,.\,dT \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (8$$

Die ebenso grosse gleichzeitig von der kälteren Flüssigkeit aufgenommene Wärmemenge, deren Temperatur von t auf $t + dt$ wächst, ist, wenn mit P_1 deren Gewicht in Kilogramm und mit S_1 deren specifische Wärme bezeichnet wird:

$$dW = P_1\,.\,S_1\,.\,dt \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (9$$

Durch Gleichsetzen der Werthe (7 und (8 wird:

$$dF\,(T - t)\,k = -PSdT$$

$$dT = -\frac{dF\,(T - t)\,k}{PS} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; (10$$

Durch Gleichsetzen der Werthe (7 und (9 wird

$$dF\,(T - t)\,k = P_1\,S_1\,dt$$

$$dt = \frac{dF\,(T - t)\,k}{P_1\,S_1} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (11$$

Durch Subtraction der Gleichung (11 von der Gleichung (10:

$$dT - dt = d\,(T - t) = -\left(\frac{1}{PS} + \frac{1}{P_1\,S_1}\right) dF\,(T - t)\,k$$

Durch Trennung der variabeln Grössen $(T - t)$ und F:

$$\frac{d(T-t)}{(T-t)} = -\left(\frac{1}{PS} + \frac{1}{P_1 S_1}\right) k\, d F \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12$$

Die Differenz $(T - t)$ kann man als eine einzige variable Grösse ansehen. Summirt man mittels Integration für $(T - t)$ in den Grenzen von $(T_0 - t_0)$ bis $(T_1 - t_1)$ und für F in den Grenzen von o bis F so erhält man die Gleichung:

$$\int_{(T_0 - t_0)}^{(T_1 - t_1)} \frac{d\,(T - t)}{(T - t)} = -\left(\frac{1}{PS} + \frac{1}{P_1 S_1}\right) k \int_o^F d F$$

und durch Ausführung der Integration mit Rücksicht auf das negative Vorzeichen des zweiten Theils:

$$log\ nat\ (T_0 - t_0) - log\ nat\ (T_1 - t_1) = \left(\frac{1}{PS} + \frac{1}{P_1 S_1}\right) k F$$

$$log\ nat\ \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1} = \left(\frac{1}{PS} + \frac{1}{P_1 S_1}\right) k F \quad . \quad . \quad . \quad (13$$

Der Factor in den Klammern kann mit Einführung der bekannten Wärmemenge W anders geschrieben werden; denn es ist

$$W = PS\,(T_0 - T_1) \text{ und auch } W = P_1\ S_1\ (t_1 - t_0)$$

folglich

$$\frac{1}{PS} = \frac{T_0 - T_1}{W} \text{ und } \frac{1}{P_1 S_1} = \frac{t_1 - t_0}{W} \quad . \quad . \quad . \quad (14$$

Alsdann wird aus Gleichung (13:

$$log\ nat\ \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1} = \left(\frac{T_0 - T_1 + t_1 - t_0}{W}\right) k F$$

Daraus wird die in einer Stunde durch 1 Quadratmeter übergeführte Wärmemenge, wenn man zugleich für F als Parallelstrom-Heizfläche die Bezeichnung F_p setzt und die entsprechende Wärmemenge mit W_p bezeichnet:

$$W_p = F_p\ k\ (T_0 - T_1 + t_1 - t_0) : log\ nat\ \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1} \quad . \quad . \quad (15$$

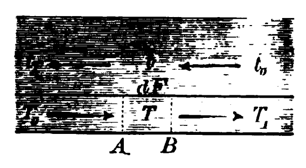
Dieses ist die allgemeine Gleichung des Wärmeübergangs bei der Parallelstrom-Heizfläche.

3. Die Gegenstrom-Heizfläche (Fig. 239).

Für die Gegenstromheizfläche wäre, wie man aus einer einfachen Ueberlegung mit Hülfe der zu vergleichenden Figuren leicht erkennt,

die Untersuchung in gleicher Weise durchzuführen wie für die Parallelstrom-Heizfläche, wobei nur die Temperaturbezeichnungen t_1 und t_0 gegenseitig vertauscht sind. Man kann demnach sofort die Schlussgleichung anschreiben, welche nach Gleichung (15, wenn man mit F_g die Gegenstrom-Heizfläche und mit W_g die entsprechende Wärmemenge bezeichnet, die folgende wird:

Fig. 239.



$$W_g = F_g\, k\,(T_0 - T_1 + t_0 - t_1) : log\,nat \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0} \quad . \quad . \quad (16$$

Dieses ist die allgemeine Gleichung des Wärmeübergangs bei der Gegenstrom-Heizfläche.

§. 198.

Zusammenstellung der Heizflächen-Gleichungen. Bemerkung über die auszuführenden Rechnungen mit natürlichen Logarithmen.

Die in §. 197 entwickelten Gleichungen des Wärmeübergangs, und zwar stündlich durch die gegebene Gesammtheizfläche bei der gegebenen Temperaturdifferenz $(T - t)$, wenn k die stündlich pro Quadratmeter jener Heizfläche bei 1° C. Temperaturunterschied übergeführte Wärmemenge bedeutet, sind der Reihe nach:

Für die Nichtstromheizfläche (Gl. 1):

$$W_n = F_n\, k\,(T - t) \text{ Calorien.}$$

Für die Einstromheizfläche (Gl. 6):

$$W_e = F_e\, k\,(T_0 - T_1) : log\,nat \frac{T_0 - t}{T_1 - t} \text{ Calorien.}$$

Für die Parallelstromheizfläche (Gl. 15):

$$W_p = F_p\, k\,(T_0 - T_1 + t_1 - t_0) : log\,nat \frac{T_0 - t_0}{T_1 - t_1} \text{ Calorien.}$$

Für die Gegenstromheizfläche (Gl. 16):

$$W_g = F_g\, k\,(T_0 - T_1 + t_0 - t_1) : log\,nat \frac{T_0 - t_1}{T_1 - t_0} \text{ Calorien.}$$

Gewöhnlich handelt es sich darum, zu finden, wie gross die Heizfläche für einen bestimmten stündlichen Wärmebedarf bei bekannten Temperaturen sein muss, dann können unmittelbar die folgenden Gleichungen angewendet werden.

Nothwendige Grösse der Nichtstrom-Heizfläche:

$$F_n = \frac{W}{k\,(T - t)} \text{ Quadratmeter} \quad \ldots\ldots \quad \text{I.}$$

Nothwendige Grösse der Einstrom-Heizfläche:

$$F_e = \frac{W}{k\,(T_o - t_1)} \log nat \frac{T_o - t}{T_1 - t} \text{ Quadratmeter} \quad . \; . \quad \text{II.}$$

Nothwendige Grösse der Parallelstrom-Heizfläche:

$$F_p = \frac{W}{k\,(T_o - T_1 + t_1 - t_o)} \log nat \frac{T_o - t_o}{T_1 - t_1} \text{ Quadratmeter} \quad \text{III.}$$

Nothwendige Grösse der Gegenstrom-Heizfläche:

$$F_g = \frac{W}{k\,(T_o - T_1 + t_o - t_1)} \log nat \frac{T_o - t_1}{T_1 - t_o} \text{ Quadratmeter} \quad \text{IV.}$$

Für die Anwendung dieser Gleichungen zu speciellen Berechnungen mag die Bemerkung beigefügt werden, dass man den natürlichen Logarithmus (*log nat*) findet, indem man den aus einer Logarithmentafel entnommenen, beziehungsweise durch Rechnung mit dort entnommenen Logarithmen erhaltenen Logarithmus für die Basis 10, also den Brigg'schen oder gemeinen Logarithmus (*log vulg*) mit der Zahl 2,3025851 multiplicirt.

Allgemein ist, wenn A, B, C irgend welche Zahlen bedeuten:

$$\log nat\, A = 2{,}3025851 \log vulg\, A$$

$$\log nat \frac{B}{C} = 2{,}3025851 \log vulg \frac{B}{C}$$

$$= 2{,}3025851\,(\log vulg\, B - \log vulg\, C)$$

oder wenn man statt *log vulg* die übliche Bezeichnung *Log* setzt:

$$\log nat \frac{B}{C} = 2{,}3025851\,(Log\, B - Log\, C)$$

Danach lassen sich anstatt der Gleichungen II, III, IV, wenn man unter *Log* den gemeinen Logarithmus der Tabellen versteht, die folgenden Gleichungen anwenden:

Für die Einstrom-Heizfläche:

$$F_e = \frac{W \,.\, 2{,}3025851\,[Log\,(T_o - t_1) - Log\,(T_1 - t)]}{k\,(T_o - T_1)} \quad . \; . \quad \text{IIa}$$

Für die Parallelstrom-Heizfläche:

$$F_p = \frac{W \,.\, 2{,}3025851\,[Log\,(T_o - t_o) - Log\,(T_1 - t_1)]}{k\,(T_o - T_1 + t_1 - t_o)} \quad . \; . \quad \text{IIIa}$$

Für die Gegenstrom-Heizfläche.

$$F_g = \frac{W \,.\, 2{,}3025851\,[Log\,(T_o - t_1) - Log\,(T_1 - t_o)]}{k\,(T_o - T_1 + t_o - t_1)} \quad . \; . \quad \text{IVa}$$

Sind zufällig die Temperaturdifferenzen in den Gleichungen II, III, IV durch so einfache runde Zahlen gegeben, dass sich die zu logarithmirenden Quotienten leicht und schnell auf gewöhnliche Art in einer einzigen Zahl ausdrücken lassen, so gestalten sich natürlich auch die Gleichungen IIa, IIIa, IVa einfacher.

Die Feuerungsanlagen.

§. 199.

Hauptbestandtheile der Feuerungsanlagen.

Bei der Anordnung einer jeden Feuerungsanlage, diese mag zum Erwärmen eines Locals oder zum Kochen oder zu einem gewerblichen Zwecke bestimmt sein, hat man daran zu denken:

1) dass die Grundbedingung des Verbrennungsprocesses erfüllt werde, d. h. dass eine geeignete Menge atmosphärischer Luft beständig mit dem Brennstoffe in Berührung kommen könne;

2) dass die Verbrennung möglichst vollständig und ohne zu grossen Luftüberschuss möglichst vollkommen geschehe, dass also die Berührung der Luft mit dem Brennstoff eine recht innige sei, und dass auch das Feuer vor allzu rascher Abkühlung geschützt werde;

3) dass die während des Verbrennungsprocesses gebildete Kohlensäure sammt dem unverbrennlichen Theile der zugeführten Luft, dem Stickstoffgase, den Dämpfen u. s. w. in die freie Atmosphäre geführt werde; in der Regel ist es erwünscht, dass dieses möglichst rasch geschehe, um ebenso rasch den Zufluss der Luft zum Feuer zu erzielen.

Nach diesen Bedingungen ergeben sich, die Verwendung fester Brennstoffe vorausgesetzt, als wesentliche Bestandtheile des Verbrennungsapparates: der Feuerraum mit dem Herde, die Feuerthür mit Register, der Rost und Aschenfall, ebenfalls mit Thür und Register, die Feuerzüge und Rauchkanäle, der Schornstein (Schlot, Esse, Rauchröhre, Kamin), und unter gewissen Umständen Luftzuführungskanäle von aussen nach dem Feuerraume.

Man findet zwar noch Oefen und Herde in Anwendung, bei welchen kein Rost und Aschenfall angebracht ist; das muss jedoch als eine mangelhafte Einrichtung, auch bei Holzfeuerungen, bezeichnet werden. Man wünscht jedenfalls eine möglichst vollständige und voll-

kommene Verbrennung des Brennmaterials zu erzielen, um mittels desselben annähernd so viel Wärme zu entwickeln, als dasselbe nach seiner natürlichen chemischen Zusammenzetzung zu liefern vermag. Die gehörige und ökonomische Verbrennung kann nur dadurch erreicht werden, dass ein beständiges, allseitiges Durchströmen von Sauerstoff beziehungsweise der Luft durch das glühende Brennmaterial stattfindet, und dieser Vorgang wird ganz besonders dadurch begünstigt, dass man das Brennmaterial auf einem Roste gleichmässig vertheilt ruhen lässt, durch welchen ebenso gleichmässig vertheilt die Luft eingeführt wird.

Um das Feuer vor zu rascher Abkühlung zu schützen, liegt es nahe, den Feuerraum, im Innern wenigstens, nicht aus Metall, sondern aus einem Material zu bilden, welches die Wärme weniger ableitet, also aus Backsteinmauerwerk oder feuerfestem Thon.

Dieses findet man denn auch in den meisten Schriften über Feuerungsanlagen als eine Hauptregel aufgestellt. Indessen hat Meidinger theoretisch und praktisch nachgewiesen, dass diese Regel keineswegs allgemeine Geltung hat. Eine allzu grosse Abkühlung des Brennmaterials, eine so grosse, dass die nothwendige Entzündungstemperatur nicht mehr vorhanden wäre, muss allerdings verhütet werden; dass aber eine so bedeutende Abkühlung durch die eisernen Wandungen des Feuerraums herbeigeführt werde, ist nicht allgemein anzunehmen.

Meidinger hat bei Füllöfen gefunden, dass die Abkühlung der glühenden Koks durch die gute Leitungsfähigkeit der eisernen Wand günstig wirkt, indem sie eine erhebliche Reduction der Kohlensäure zu Kohlenoxydgas nicht zulässt, wogegen diese nachtheilige Reduction bei Ausfütterung des eisernen Schachtes mit Thon in sehr merklicher Weise stattfindet. *)

Damit soll jedoch die erwähnte alte Regel nicht geradezu verworfen und nicht die neue Regel aufgestellt werden, dass man die Wände des Feuerraums immer aus Metall ausführen soll. In einem solchen Feuerraume mit Metallwänden geht wegen der weniger hohen Temperatur in der ersten Zeit nach jeder neuen Beschickung des Rostes die Verbrennung weniger günstig vor sich, und es erfolgt — namentlich bei der Verwendung von Steinkohlen — leichter Rauchbildung. Die regulirende Wirkung der im heissen Mauerwerk aufgespeicherten Wärme ist in vielen Fällen von überwiegender und massgebender Bedeutung.

---

*) Prof. Dr. H. Meidinger, Feuerungsstudien. Karlsruhe 1878. Vgl. auch Dr. F. Grashof, Theoretische Maschinenlehre. Leipzig 1875. 5. Lieferung S. 925.

Die Schornsteine betreffend, unterscheidet man steigbare und russische Schornsteine; in einigen Gegenden jedoch pflegt man nur die weiten steigbaren Rauchröhren Schornsteine zu nennen, die engen dagegen Kamine. Meistens wird Schornstein und Kamin gleichbedeutend gebraucht, und man findet nicht nur im täglichen Leben, sondern auch in den Werken hervorragender Schriftsteller sowohl das Kamin als der Kamin gesagt, ersteres z. B. bei Redtenbacher. Nach dem lateinischen *caminus* wird richtiger der Kamin zu sagen sein. Uebrigens bedeutet *caminus* ursprünglich Feuerstätte, Zimmerherd, und wegen der noch jetzt viel beliebten Anwendung der Heizkamine, von welchen in §. 216 und 217 die Rede sein wird, ziehe ich es vor, für den an gegenwärtiger Stelle zu besprechenden Gegenstand nur den Namen Schornstein zu gebrauchen.

Der Schornstein hat nicht nur den Zweck, die Verbrennungsproducte über das Dach hinauszuführen, wie einige Autoren noch in neuerer Zeit behauptet haben, sondern auch die zur Unterhaltung des Feuers nothwendige Luftströmung, den sogenannten Zug hervorzubringen. Die Grösse der Luftmenge, welche in einer bestimmten Zeit in den Feuerraum eindringt, ist hauptsächlich von der Einrichtung des Schornsteins abhängig, übrigens auch von der Einrichtung des Feuerungsrostes und in hohem Grade von der Bedeckung des Rostes.

§. 200.

Ueber die Feuerungsroste.

Die Einrichtung der gewöhnlichen einfachen Feuerungsroste, welche bei kleinen Dimensionen aus einem Stück gegossen sind, bei grösseren aus mehreren Theilen oder einzelnen Stäben bestehen, wobei die Dicke der Roststäbe immer nach unten abnimmt, kann als bekannt vorausgesetzt werden; diese einfachen Roste sind auch für die häuslichen Feuerungen zweckdienlich. Complicirtere Rostconstructionen sind in der oben erwähnten Schrift „Feuerungsstudien von Meidinger dargestellt und besprochen, worauf hier verwiesen werden mag.

Bei grossen Centralheizungen kann das zulässige Maximum eines Rostes in Frage kommen; dieses ist abhängig von der Möglichkeit einer guten und hinlänglich leichten Bedienung, wozu die Reinigung von Schlacken gehört und die Beschickung mit Brennstoff in möglichst gleichförmig dicker Schicht, ohne dass dabei die Heizthür zu lange offen bleiben

muss. Nach Grashof ist als Maximum der Länge 1,5 Meter und als Maximum der Breite 0,9 Meter zu betrachten.

Die Weite der Zwischenräume zwischen den einzelnen Roststäben, die Spaltweite, richtet sich zum Theil nach der Grösse des zu verwendenden Brennstoffs; sie soll nicht so gross sein, dass mit der Asche zugleich unverbrannte Stückchen des Brennstoffs hindurchfallen können, doch auch nicht so klein, dass die Handhabung des Schüreisens erschwert und der Widerstand gegen das Hindurchströmen der Luft wesentlich erhöht wird. Fast in allen Fällen ist jedoch der Widerstand, welcher die auf dem Roste liegende Brennstoffschicht dem Durchströmen der Luft bietet, grösser als jener, selbst bei sehr engen Rostspalten.

Vortheilhaft ist bei geringer Spaltweite eine grosse Anzahl der Rostspalten im Verhältniss zur totalen Rostfläche, um den allseitigen Luftzutritt zum Brennmaterial zu begünstigen. Daraus folgt die Zweckmässigkeit einer geringen Dicke der Roststäbe, welche auch aus dem Grunde von Nutzen ist, um die Kühlung dieser Stäbe durch die zwischen denselben hindurchströmende Luft zu erleichtern. Eine geringe Dicke der Roststäbe genügt auch schon zur Sicherheit gegen das Einbiegen unter der Belastung durch das daraufgebrachte Brennmaterial.

In der Praxis wechselt die Spaltweite, je nach der Beschaffenheit des zu verwendenden Brennstoffs zwischen 5 und 10 Millimeter, die obere Dicke der Roststäbe je nach ihrer Länge von 12 bis 30 Millimeter, die sogenannte freie Rostfläche, d. h. die Gesammtfläche zwischen den Roststäben von $^1/_4$ bis etwa $^1/_3$ der totalen Rostfläche.

Nach Redtenbacher-Grashof*) gelten für die Roste folgende allgemeine Regeln: Nennt man

B die Brennstoffmenge in Kilogramm, welche stündlich auf dem Roste verbrannt werden soll,

R die Oberfläche des Rostes in Quadratmeter,

$\mathfrak{B}$ das Volumen des auf dem Rost befindlichen Brennstoffs in Cubikmeter

Δ die mittlere Dicke der Brennstoffschicht in Meter,

v die Anfachungsgeschwindigkeit, oder die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft durch die Rostspalten strömt, in Meter,

n das Verhältniss der Summe der Querschnitte sämmtlicher Rostspalten und der Fläche des Rostes,

so hat man für jede Feuerungsanlage:

$$\mathfrak{B} = \frac{1}{1895} \frac{B}{n}; \quad R = \frac{1}{1895} \frac{B}{n\Delta}; \quad v = 7\,\Delta.$$

*) Resultate für den Maschinenbau. 6. Auflage, 1875.

Es sind die Werthe von	n	Δ	$\frac{R}{B}$
für Dampfkesselfeuerungen mit Steinkohlen	0,25	0,1 m	$\frac{1}{48}$
„ Locomotivfeuerungen mit Koks . . .	0,50	0,4 „	$\frac{1}{379}$
„ Holzfeuerungen	0,30	0,2 „	$\frac{1}{114}$
„ Holzkohlenfeuerungen	0,25	0,18 „	$\frac{1}{85}$

Speciell für Roste bei Dampfkesseln ist daselbst die Regel angegeben:

Nennt man $\mathfrak{S}$ die Steinkohlenmenge in Kilogramm und $\mathfrak{H}$ die Holzmenge in Kilogramm, welche stündlich auf einem Rost verbrannt werden sollen, so ist die Rostfläche R zu nehmen wie folgt:

$$R = \frac{\mathfrak{S}}{50} = \frac{\mathfrak{H}}{100} \text{ Quadratmeter.}$$

Die Spalten zwischen den Roststäben sollen hiebei $^1/_4$ der ganzen Rostfläche betragen.

Solche Regeln und Formeln sind Durchschnittsverhältnissen entnommen und müssen desshalb für aussergewöhnliche Verhältnisse mit Vorsicht angewendet, dürfen oder müssen eventuell modificirt werden. Wenn nach der letzten Regel die totale Rostfläche für 1 kg. in der Stunde zu verbrennende Steinkohlen $^1/_{50} = 0{,}02$ qm $= 2$ Quadrat-Decimeter wäre, so findet man doch sowohl nur etwa die halbe als auch fast die dreifache Rostgrösse in Anwendung und zwar mit gutem Erfolge. Das Verhältniss der freien Rostfläche zur totalen, die Qualität, Stückgrösse und Schichthöhe der Kohlen und namentlich die Stärke des Luftzugs, also auch die Schornsteinhöhe und anderweitige Einrichtungen sind dabei von Einwirkung. Da vorhin die Formel $v = 7\,\Delta$ angegeben wurde, so mag darauf hingewiesen werden, dass man sie nicht etwa dahin deute, als sei die Geschwindigkeit gleich der siebenfachen Höhe der Brennstoffschicht oder auch nur dieser proportional; denn offenbar wird im Gegentheil der Zug um so mehr geschwächt, je höher bei demselben Material die Brennstoffschicht ist. Die Gleichung $v = 7\,\Delta$ soll sagen, dass die Schichthöhe um so grösser sein darf, je stärker der Luftzug, und dass

sie im Mittel den siebenten Theil der Anfachungsgeschwindigkeit, in Meter ausgedrückt, betragen darf, dass man also nach annähernd bekannten mittleren Werthen für v den Werth $\Delta = \frac{1}{7}\, v$ in die vorausgehende Gleichung für R einführen soll.

Für die Verwendung eines Brennstoffs, welcher aus so kleinen Theilchen besteht oder doch deren so viele enthält oder in der Hitze zu so kleinen Theilchen zerfällt, dass bei der kleinsten üblichen und sonst praktischen Spaltweite noch zu viel Brennmaterial unverbrannt durch den Rost fallen würde, wird mit Vortheil ein Treppenrost angebracht, d. h. ein schräger Rost, dessen Stäbe flach wie die Trittstufen einer Treppe mit angemessenen Zwischenräumen über einander liegen und sich theilweise überdecken, so dass der Brennstoff, welcher oben aufgegeben und nach und nach hinabgestossen wird, nicht zwischen den Roststäben hindurchfallen, aber die Luft in horizontaler Richtung hindurchziehen kann.

Bei grossen und kleinen Oefen verschiedener Constructionsarten hat man ähnliche, entweder im Ganzen bewegliche oder aus einzelnen beweglichen Stäbchen bestehende verhältnissmässig kleine verticale oder schräge Roste. Diese kleinen Roste, ausser welchen noch gewöhnliche horizontale Roste vorhanden sind, haben meistens den Zweck, am Feuerraume eine durchbrochene Wand zu bilden, durch welche man nach dem Feuer sehen und den Schürhaken einführen, auch Schlacken beseitigen kann, ohne dass viel glühendes Brennmaterial herausfällt; zuweilen namentlich bei drehbaren Roststäbchen dienen sie auch einigermassen zur Regulirung des Feuers.

Die sogenannten Korbroste lassen die Luft rings an den durchbrochenen schrägen oder verticalen Seitenflächen zum Brennmaterial gelangen. Diese Roste ermöglichen die Zuführung einer bedeutenden Luftmenge in grosser Vertheilung in einem verhältnissmässig kleinen Feuerraum, haben aber einige Mängel, nämlich: der Widerstand gegen das Eindringen der Luft, folglich dieses Eindringen, ist bei weitem nicht so gleichmässig wie bei einem ziemlich gleich hoch bedeckten horizontalen Rost; namentlich bei der Koksfeuerung macht sich der Nachtheil geltend, dass man nicht gut mit Anwendung eines nur kleinen Brennstoffquantums heizen kann, sondern zur Feuerung mit hoher Schicht gezwungen ist, und dass auch in diesem Falle das Brennmaterial im Feuerraum gewöhnlich nicht vollständig zur Verbrennung gelangt, weil die glühenden Koks erlöschen, wenn viel Luft über denselben weg durch den Ofen strömt, wie es jedesmal gegen das Ende der Verbrennung einer Füllung der Fall ist. Sollte auch ausnahmsweise der Zug durch den

unteren Rost noch so stark sein, dass die Verbrennung eine nahezu vollständige wird, so geschieht es doch mit dem Nachtheile eines sehr grossen Luftüberschusses.

Von den bei den Treppenrosten angegebenen Umständen abgesehen ist es ohne Zweifel am zweckmässigsten, die zur Verbrennung dienende Luft nur unterhalb des Brennmaterials, also durch einen horizontal oder wenig schräg liegenden Rost einzuführen.

§. 201.

Ueber die Ursachen des Zuges im Schornstein.

Die unmittelbare und nächste Ursache der aufwärtsgerichteten Luftbewegung im Schornstein, des Zuges, ist immer dieselbe; immer nämlich die Störung des Gleichgewichts zweier Luftmassen, von denen die eine, in der Regel die leichtere, den Schornstein füllt, die andere, schwerere, als eine gleich grosse Säule von der Höhe des Schornsteins in der Atmosphäre zu denken ist. Beide Luftmassen communiciren durch die Stube oder Küche oder einen anderen Raum und den Feuerraum nebst verschiedenen Kanälen oder Röhren. Es müssen also die hydrostatischen oder aërostatischen Gesetze für communicirende Röhren hier eine Anwendung finden.

Die Störung des Gleichgewichts kann nun im vorliegenden Falle durch Erwärmung der Luftsäule im Schornstein, durch relative Luftverdünnung, also bis zu einem bestimmten Grade nach unserem Belieben stattfinden und regulirt werden; oder sie kann durch eine zufällige, nicht so constant wirkende Ursache, nämlich durch die saugende Wirkung des Windes, der in gewisser Richtung über den Schornstein hinstreicht, d. i. durch absolute Luftverdünnung veranlasst oder vermehrt sein.

Auch die Pressung des Windes von aussen gegen den Feuerraum wird zuweilen das Emporsteigen der Luft im Schornsteine veranlassen oder befördern, was an sich klar ist.

Sonach hätte man zwei Ursachen der Störung des aërostatischen Gleichgewichts, zwei entferntere Ursachen des Zuges im Schornstein zu unterscheiden: die Entwicklung von Wärme und den Wind.

Der Ausdruck Zug ist zwar in wissenschaftlicher Hinsicht nicht gerechtfertigt, da es ein Druck, der Ueberdruck ist, wodurch die Luftbewegung hervorgebracht wird; da nun aber der Ausdruck Zug

leider so allgemein eingeführt und so fest eingewurzelt ist, dass dessen Beseitigung nicht zu hoffen steht, und die dahin gerichteten Bemühungen häufig Verwirrung veranlassen würden, mag er auch hier beibehalten bleiben.

§. 202.

Wirkung der relativen Luftverdünnung im Schornstein.

Wenngleich das specifische Gewicht des Rauches etwas grösser ist als das der Luft von derselben Temperatur, so ist doch dieser Umstand im vorliegenden Falle von so geringer Bedeutung, dass derselbe ausser Acht gelassen werden kann. Man darf sich also anstatt des Rauches bei der Berechnung des Zuges warme Luft von gewöhnlicher Zusammensetzung vorstellen.

Ist ein Schornstein von der Höhe H mit warmer Luft von der Temperatur T^0 C. angefüllt, und kann diese warme Luftsäule in Folge ungehinderten Zuflusses gleich warmer Luft von der Feuerung her auf einige Zeit von gleicher Höhe und Beschaffenheit angenommen werden; hat ferner die äussere Luft der Atmosphäre, die auch ungehindert in den Feuerraum fliessen kann, die Temperatur t^0 C., so ist in jedem Querschnitte des Schornsteins, wenn derselbe durchaus gleiche Weite hat, der von der warmen Luft zurückgelegte Weg in der Secunde, abgesehen von den Hindernissen der Bewegung, mit anderen Worten die theoretische Geschwindigkeit (nach §. 78, 79):

$$C = \sqrt{2gH\frac{T-t}{273+t}}$$

Man erkennt aus obiger Geschwindigkeitsgleichung, dass der Zug im Schornstein im Verhältniss der Quadratwurzel der Schornsteinhöhe und (so lange die äussere Temperatur t dieselbe bleibt) im Verhältniss der Quadratwurzel der inneren Temperaturerhöhung oder der Differenz zwischen den Temperaturen der äusseren Luft und der Luftsäule im Schornstein wächst; man erkennt ferner, dass es, weil die äussere Temperatur t noch als Summand im Nenner vorkommt, von günstigem, aber geringem Einfluss ist, wenn [bei gleichbleibender Temperaturdifferenz $(T - t)$] die äussere Temperatur t eine geringere wird. Ein Beispiel wird das Gesagte hinlänglich deutlich machen. Hat unter sonst gleichen Umständen ein Schornstein A eine Höhe von 40 m, ein anderer Schornstein B eine Höhe von 10 m, so verhalten sich die Geschwindigkeiten in dieser Ordnung wie

$$\sqrt{40} : \sqrt{10} = \sqrt{4} \,.\, \sqrt{10} : \sqrt{1} \,.\, \sqrt{10} = \sqrt{4} : \sqrt{1} = 2 : 1$$

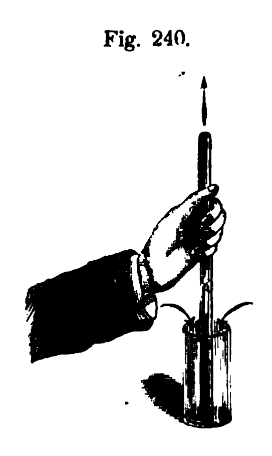
Dasselbe Verhältniss ergibt sich, wenn man bei gleicher Höhe beider Schornsteine, oder folglich bei demselben Schornstein und bei gleichbleibender äusserer Temperatur, z. B. bei $t = 0^0$ die innere Temperatur T, also auch die Temperaturdifferenz $(T' - t)$ einmal zu 40^0 und einmal zu 10^0 annimmt.

Der Zug eines Schornsteins wird also der doppelte, dreifache, vierfache u. s. w., wenn entweder die Höhe des Schornsteins oder die Temperaturerhöhung in demselben die vierfache, neunfache, sechzehnfache wird, oder auch, wenn das Product aus der Schornsteinhöhe und der Temperaturerhöhung das vierfache, neunfache, sechzehnfache wird.

Diese Einflüsse lassen sich im Allgemeinen durch sehr einfache Experimente ersichtlich machen.

Man bringe in ein etwas hohes Glas (Fig. 240) einige Züge Tabaksrauch, indem man solchen ruhig in das Glas haucht, stelle dann in möglichster Ruhe eine Röhre aus Glas oder Pappe (die unten schräg abgebrochen oder abgeschnitten ist, um die Communication zwischen der Luft in der Röhre und im Glase nicht zu hemmen) in das Glas. Befand sich die Röhre vorher an einem Orte von geringerer oder ebenso hoher Temperatur wie jetzt, so erfolgt kein Emporsteigen des Rauches in der Röhre. Nachdem man aber die Röhre nur kurze Zeit mit der warmen Hand umfasst hat, so sieht man den Rauch vollständig aus dem Glase verschwinden und durch die obere Mündung der Röhre austreten. Hat man die Röhre mehr erwärmt, etwa dadurch, dass man sie kurze Zeit über ein Feuer hält oder auf einen warmen Ofen legt, so sieht man den Rauch mit bedeutend grösserer Geschwindigkeit emporsteigen.

Fig. 240.



Mit Hilfe eines Thermometers kann man die Zunahme oder Abnahme der Geschwindigkeit mit der Zunahme oder Abnahme der Temperatur der oben ausfliessenden Luft übereinstimmend finden.

Benützt man anstatt dieser Röhre unter denselben Umständen eine doppelt oder dreimal so lange, so bemerkt man eine ganz entschiedene Zunahme der Geschwindigkeit der Rauchströmung.

§. 203.

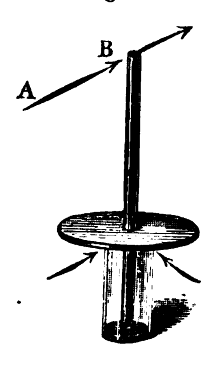
Wirkung der absoluten Luftverdünnung im Schornstein.

Ist die Temperatur der Luft in einem Schornstein gleich der Temperatur der äusseren Luft, und ist keine Ursache für Veränderung des specifischen Gewichts und der Spannkraft der Luft auf einer von beiden Seiten vorhanden, so muss die Luftsäule im Schornstein in Ruhe sein.

Bewegt sich aber ein Luftstrom, Wind, in horizontaler oder aufwärtsgehender Richtung unmittelbar über der Mündung des Schornsteins hin, so drängt sich die ruhige Luftsäule des Schornsteins mit ihrer dem jeweiligen Atmosphärendrucke gleichen Spannkraft gegen die bewegte äussere Luftschicht, welche folglich durch Luftreibung die ihr nächsten Lufttheilchen an der Mündung mit sich hinwegreisst. Dadurch muss im ganzen Schornstein eine absolute Luftverdünnung entstehen und es muss ein sehr schnelles Nachfliessen der Luft aus dem Heizraume in den Schornstein erfolgen.

Auf diese Art erklärt es sich, dass man zuweilen bei starkem Winde einen besonders heftigen Zug im Schornstein bemerkt, und zwar sogar zu Zeiten, wo nicht geheizt wird, und wenngleich das Thermometer zeigt, dass die Luft im Schornstein kälter ist als im Freien, welcher Fall gewöhnlich im Frühjahre eintritt.

Fig. 241.



Der erwähnte Vorgang wird durch folgendes Experiment veranschaulicht (Fig. 241):

Man bringe, wenn man besonders vorsichtig sein und die für die Luftbewegung günstige Wirkung der Wärme jedenfalls gänzlich verhüten will, das Glas und die Röhre für einige Zeit an einen kühlen Ort und nehme das Experiment in einem wärmeren Locale vor. Sobald man die kalte Röhre in das theilweise mit Rauch gefüllte Glas bringt, so bemerkt man, dass reine Luft durch die Röhre herabsinkt und den Rauch aus dem Glase selbst austreibt. Die an der Röhre angebrachte horizontale Scheibe, welche nur den Zweck hat, die unmittelbare Einwirkung der äusseren Luftbewegung auf den Rauch im Glase zu vermindern, darf natürlich nicht fest auf dem Glase aufsitzen, weil in diesem Falle die Bedingung für das Vorhandensein communicirender Gefässe nicht vorhanden wäre.

Bläst man nun etwas schräg von unten nach oben, etwa in der Richtung *A B* über die Mündung der Röhre hin, so ist der zuerst entstandene abwärtsgehende Luftstrom augenblicklich umgekehrt, im nächsten Momente ist sämmtlicher Rauch aus dem Glase durch die Röhre entwichen.

Diese Wirkung der durch den Wind veranlassten absoluten Luftverdünnung ist eine so bedeutende, dass man noch bei einer Röhre von 2 Meter Länge bei einigermassen starkem Blasen kaum eine Zeitdifferenz zu unterscheiden vermag vom Beginn des Blasens bis zum Beginn des Rauchausfliessens. Eine Geschwindigkeit von 2 Meter in der Secunde, durch blosse relative Luftverdünnung hervorgebracht, würde aber bei einer Schornsteinhöhe von 16 Meter mit Berücksichtigung der Widerstände eine Temperaturdifferenz von etwa 16° C. erfordern. (§. 117 S. 311.)

Man wird hieraus erkennen, dass die Möglichkeit einer vortheilhaften Benützung des Windes für den Zug in Schornsteinen nahe liegt. Apparate, welche diesem Zwecke dienen, sind bereits oben (§. 124 bis 132) beschrieben und dargestellt.

§. 204.

Widerstände des Schornsteinzugs.

Die Widerstände der gewünschten aufwärts gerichteten Luftströmung in einem Schornstein sind dieselben, welche bereits oben für Luftleitungen im Allgemeinen aufgezählt und besprochen worden sind (§. 81 ff., §. 165 ff.). Es sind theils unvermeidliche Widerstände, welche durch Anwendung passender Formen, Dimensionen und Materialien in gewissem Grade vermindert, nie aber gänzlich beseitigt werden können, theils sind es zufällige, von gewissen Zuständen der Atmosphäre abhängige Widerstände oder Hindernisse, für welche die Möglichkeit der Beseitigung vorhanden ist, obgleich die Umstände zuweilen der Art sind, dass man sich gleichfalls mit einer Verminderung jener Hindernisse begnügen muss, weil die Vortheile der vollständigen Beseitigung ausser Verhältniss zu den zu überwindenden Schwierigkeiten und aufzuwendenden Kosten stehen würden.

Die unvermeidlichen Widerstände könnte man leicht annähernd berechnen, wenn man es bei einem Schornstein mit einer einfachen vertical oder auch etwas schräg stehenden cylindrischen oder parallel-epi-

pedischen Röhre zu thun hätte und besonders einfach dann, wenn wegen passend gestalteter Einmündung keine Contraction zu berücksichtigen wäre.

Es wäre in diesem Falle nur der Reibungswiderstand in Rechnung zu bringen und demnach für die Berechnung der wirklichen Geschwindigkeit V die Gleichung (Gl. X S. 220) anzuwenden:

$$V = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)\,D}{(273+t)\,(D+4\,K\,L)}} \text{ Meter in der Secunde,}$$

worin H die verticale Höhe ist, L die Länge des Schornsteins, bei verticaler Richtung gleich H, D die Schornsteinweite, T die mittlere Temperatur im Schornstein, t die äussere Temperatur, $g = 9{,}81$ und $K = 0{,}006$.

Nun hat man aber bei der Berechnung des Schornsteinzugs nicht den Vorgang in einer einfachen Röhre zu betrachten, sondern in einem zuweilen sehr complicirten System verschiedener Kanäle und Röhren, wobei Erweiterungen und Verengungen, Winkel und Krümmungen vorkommen. Die Berechnung wird dadurch etwas umständlich, lässt sich aber immerhin ohne besondere Schwierigkeit nach der Formel 14 (S. 499) ausführen. Es ist nämlich die im engsten Querschnitt des Systems sich ergebende wirkliche Geschwindigkeit V:

$$V = C : \sqrt{1 + K_1\left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1^5} + \frac{L_2 D^4}{D_2^5}\right) + n + m\,sin^2\,\alpha + x\,\zeta_2\,\frac{\beta}{180}}$$

wobei C die theoretische Geschwindigkeit bedeutet, nämlich

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}} \text{ Meter in der Secunde,}$$

ferner $K_1 = 0{,}024$, D den Durchmesser an der engsten Stelle, D_1 und D_2 die Durchmesser von zwei weiteren Kanälen, n die Anzahl der eingeschalteten Erweiterungen, m die Anzahl der Kniestücke vom Ablenkungswinkel α, x die Anzahl der Krümmungen vom Centriwinkel β, ζ_2 ein von dem Verhältniss der halben Röhrenweite zum Krümmungsradius der Röhrenaxe abhängigen Coëfficienten (Tabelle S. 497).

Doch auch diese umständlichere Berechnung, welche bei Luftleitungen von Ventilationsanlagen zu nahezu richtigen und bei entsprechender Berücksichtigung der ungünstigsten Umstände zu jedenfalls brauchbaren Resultaten führt, muss bei der Berechnung des Schornsteinzugs als illusorisch bezeichnet werden, weil das über dem Feuerungsrost liegende, diesen theilweise mit Schlacken deckende und mit Asche und Schlacken verstopfende Brennmaterial bei seiner ver-

änderlichen Schichthöhe und Beschaffenheit einen Zugwiderstand bildet, welcher sich einer auch nur annähernd zuverlässigen Berechnung entzieht.

Dessenungeachtet sind die obigen Untersuchungen auch für Feuerungsanlagen und Schornsteine nicht werthlos, da sie den relativen Nutzen oder Nachtheil gewisser Umstände und Einrichtungen erkennen lassen. Es geht unter Anderem daraus hervor, dass es von Wichtigkeit ist, Schornsteine vertical aufzuführen und, wenn dieses die baulichen Verhältnisse nicht gestatten, wie es zuweilen in Gebäuden vorkommt, doch darauf zu sehen, dass der Schornstein unter einem möglichst steilen Winkel gezogen (geschleppt, geschleift) werde, weil durch die schräge Richtung zum Nachtheil des Zuges die Länge L vergrössert wird ohne gleiche Zunahme der günstigen verticalen Höhe H; ferner dass man die Entstehung von Luftwirbeln und anderen Unregelmässigkeiten zu vermeiden suchen, desshalb die Ablenkungswinkel mit grossem Radius abrunden, keine plötzliche Erweiterungen und Verengungen in den Kanälen anbringen soll, wenn man nicht etwa einen Theil des Rauches, wie bei Räucherkammern, seitlich ableiten will.

Es erübrigt noch, die zufälligen Hindernisse des Zuges zu besprechen. Diese können verschiedener Art sein, Wind, Sonne, Regen. Von den letzteren wird in §. 206 und 207 die Rede sein. Als hauptsächlichstes Hinderniss muss der Wind bezeichnet werden. Man sieht leicht ein, und aus der Erfahrung ist es hinreichend bekannt, dass schräge oder verticale von oben nach unten in den Schornstein gelangende Windstösse im Stande sind, bei nicht sehr grosser Geschwindigkeit der Rauchbewegung die ganze Rauchsäule gegen die Feuerung und nach dem Zimmer oder der Küche zurückzudrängen, und dass der Wind, an einer Seite im Schornstein herabgleitend, einen Theil des Rauches mit sich hinabreisst. Demnach ist es von Wichtigkeit, Vorrichtungen zu haben, durch welche diese Störungen vermieden werden, soweit es überhaupt bei den obwaltenden Situations- und Benützungsverhältnissen der Anlagen möglich ist. Die Vorrichtungen sind dieselben, welche zugleich auch für die vortheilhafte Benützung des Windes dienen (§. 124 bis 132). Diese Schornsteinaufsätze, zum Theil unter dem Namen Rauch- und Luftsauger bekannt geworden, sind bei niedrigen Schornsteinen im Allgemeinen nothwendiger, als bei hohen, jedoch auch bei sehr hohen Schornsteinen oft nützlich. Bei solchen können nahe Bergwände in ähnlicher Weise Stauung und Abwärtslenkung des Windes veranlassen, wie bei niederen Schornsteinen höhere Mauern und Dächer.

§. 205.

Praktische Regeln für Schornsteinberechnungen.

Nach Redtenbacher*) können die Dimensionen der Schornsteine mit einer für die Praxis genügenden Genauigkeit durch folgende Regeln bestimmt werden.

Nennt man

$\mathfrak{S}$ die Steinkohlenmenge in Kilogramm, welche in einer Stunde auf einem Feuerherd verbrannt wird,

$\mathfrak{H}$ die Holzmenge in Kilogramm, welche stündlich auf einem Herd verbrannt wird,

$\mathfrak{L}$ die Luftmenge in Kilogramm, welche stündlich durch den Schornstein aufsteigt,

N für Dampfmaschinen-Kesselheizungen die Pferdekraft der Maschine oder des Kessels,

H die Höhe des Schornsteins in Meter,

Ω den unteren Querschnitt des Schornsteins in Meter,

d die untere Weite des Schornsteins in Meter,

d_1 die obere Weite des Schornsteins in Meter,

e die untere Mauerdicke des Schornsteins in Meter,

e_1 die obere Mauerdicke des Schornsteins in Meter,

so hat man zur Bestimmung einer der vier Grössen N, $\mathfrak{S}$, $\mathfrak{H}$, $\mathfrak{L}$, wenn die drei andern bekannt sind, folgende Beziehungen:

$$N = \frac{\mathfrak{S}}{3} = \frac{\mathfrak{H}}{6} = \frac{\mathfrak{L}}{66},$$

$$\mathfrak{S} = 3N = \frac{\mathfrak{H}}{2} = \frac{\mathfrak{L}}{22},$$

$$\mathfrak{H} = 6N = 2\mathfrak{S} = \frac{\mathfrak{L}}{11},$$

$$\mathfrak{L} = 66N = 22\mathfrak{S} = 11\mathfrak{H}$$

Sodann findet man die Hauptdimensionen eines Schornsteins, dessen Höhe durch Local- oder andere Verhältnisse bekannt ist, durch folgende Ausdrücke:

$$\Omega = \frac{N}{14\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{S}}{42\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{H}}{84\sqrt{H}} = \frac{\mathfrak{L}}{924\sqrt{H}}$$

*) Resultate für den Maschinenbau. 1875 S. 195. Diese Regeln sind zwar für Dampfmaschinenheizungen aufgestellt, sind aber auch von allgemeinerem Interesse und Nutzen.

Für freistehende Schornsteine ist es zweckmässig, die Höhe 25 mal so gross zu machen als den unteren Durchmesser. Die Dimensionen dieser Schornsteine sind:

$$H = 5{,}03\,(N)^{2/5} = 3{,}24\,(\mathfrak{S})^{2/5} = 2{,}46\,(\mathfrak{H})^{2/5} = 0{,}94\,(\mathfrak{L})^{2/5},$$

$$d = \frac{H}{25},\ d_1 = d - 0{,}013\,H,$$

$$e_1 = 0{,}18 \text{ Meter},\ e = 0{,}18 + 0{,}015\,H.$$

Hiernach hat Redtenbacher eine Tabelle berechnet, aus welcher hier einige Werthe zusammengestellt werden.

Abmessungen freistehender Schornsteine.

H Höhe des Kamins	d untere Weite im Lichten	d_1 obere Weite im Lichten	e_1 obere Mauerdicke	e untere Mauerdicke	N Pferdekraft	$\mathfrak{S}$ Steinkohlen in 1 Stunde	$\mathfrak{H}$ Holz in 1 Stunde
m	m	m	m	m		kg	kg
12	0,48	0,32	0,18	0,36	8,8	26,4	52,8
15	0,60	0,41	0,18	0,41	15,3	45,9	91,8
18	0,72	0,49	0,18	0,45	24,2	72,6	145,2
21	0,84	0,57	0,18	0,50	35,6	106,8	213,6
24	0,96	0,65	0,18	0,54	49,6	148,8	297,6
27	1,08	0,73	0,18	0,59	66,6	199,8	399,6
30	1,24	0,84	0,18	0,63	86,7	260,1	520,2
33	1,32	0,89	0,18	0,68	110	330	660

§. 206.

Einfluss der Sonnenstrahlen auf die Luftströmung in den Schornsteinen.

Aus den oben über den Einfluss der relativen Luftverdünnung gemachten Mittheilungen ist klar, dass die Erwärmung eines Schornsteins durch die Sonnenstrahlen geeignet sein müsste, den Zug in demselben zu erhöhen.

Hier scheint sich nun ein eigenthümlicher Widerspruch geltend zu machen. Es ist eine durch die Erfahrung vielfach bestätigte Thatsache, dass manche Schornsteine nicht ziehen oder dass es in der Küche

raucht, wenn die Sonne den Schornstein stark bescheint, namentlich wenn die Sonne sehr hoch steht und ihre Strahlen in die Mündung des Schornsteins wirft. Pettenkofer sagt (1858) in dieser Beziehung: „Alle Physiker sind darüber einig, dass das Phänomen vorläufig nicht erklärt sei; selbst Péclet gesteht das zu, der in diesen Dingen als eine vollberechtigte Autorität angesehen werden muss." Nach Pettenkofer's Vermuthung spielt bei dieser Erscheinung das bereits im Kamine zu sichtbaren Nebeln condensirte Wasser, welches bei der Verbrennung von Holz, Torf oder Steinkohle entwickelt wird, eine Hauptrolle.

Ich will mir nicht anmaassen zu behaupten, dass meine eigenen Ansichten in dieser Beziehung die alleinig richtigen seien; doch glaube ich mich durch meine Beobachtungen berechtigt, mich darüber auszusprechen.

Nicht immer ist es derselbe Vorgang, welcher die erwähnte Störung verursacht.

Zunächst ist es klar, dass überhaupt bei warmer Witterung der Zug im Schornstein geringer sein muss, als bei kalter, da im ersten Falle der Druck von aussen geringer ist, welcher die Luftsäule im Schornstein emporheben soll. Sind nun die Mauermassen in den Häusern und damit leicht auch die Schornsteinwände bedeutend kälter als die äussere Luft — und das ist gewöhnlich im Frühjahr und häufig auch im Sommer nach anhaltend schlechter Witterung der Fall — so wird, wenn anhaltend warmer Sonnenschein eintritt, während nicht gefeuert wird, beständig eine kalte Luftsäule im Schornstein herabsinken, es sei denn, dass durch günstige Winde das Gegentheil veranlasst werde. Bei ruhiger Luft aber, während die kalte Luftsäule im Schornstein herabsinkt, ist es oft kaum möglich, auf dem Herde oder im Ofen ein Feuer anzufachen und den Schornstein in dem Grade zu erwärmen oder mit warmer Luft zu füllen, dass dadurch die abwärtsgehende Strömung überwältigt werde.

Zweitens ist zu bemerken: Wenn durch die Sonnenstrahlen die den Schornstein umgebenden Flächen stark erwärmt werden, so bilden sich über diesen stärker erwärmten Gegenständen aufwärtsgerichtete Luftströmungen, an den beschatteten, also kälteren Stellen dagegen abwärtsgerichtete Strömungen, durch welche die emporgehobenen Luftmassen ersetzt werden. So muss denn auch auf der einen Seite des Schornsteins aussen eine abwärtsgerichtete Strömung stattfinden, und da diese Strömung von höheren Luftschichten herab genährt werden muss, so kann sehr leicht in Folge des Behar-

rungsvermögens der abwärtsgerichtete, aus der Höhe kommende Luftstrom theilweise in die Mündung des Schornsteins gelangen und den Rauch hinabdrängen.

Drittens ist bei sehr weiten Schornsteinen — und bei solchen tritt ja der in Rede stehende Uebelstand am meisten hervor — wohl auch der Fall denkbar, dass vermöge der ungleichen Erwärmung der inneren Schornsteinwände durch die Sonne eine Wirbelbewegung im Schornstein in der Weise entsteht, dass, auch während die Hauptmasse der Luftsäule mit geringer Geschwindigkeit emporgehoben wird, auf der weniger erwärmten Seite der Rauch wieder zu gewisser Tiefe herabfliesst, sich dann gegen die mehr erwärmte Seite hinbewegt, wo die aufwärtsgehende Strömung am schnellsten vor sich geht. In Folge solcher Doppelströmung oder Wirbelbewegung kann nun ebenfalls ein Theil des Rauches zum Herabgleiten bis an den Herd veranlasst werden; eine Störung des an sich schon sehr geringen Zuges wenigstens kann auf solche Weise sehr leicht eintreten.

Um diesen durch die Sonnenstrahlen veranlassten störenden Erscheinungen vorzubeugen, wird dafür zu sorgen sein, dass die Sonne den Schornstein möglichst stark und gleichmässig am oberen Theile erwärmt, damit das Gewicht der Luftsäule im Schornstein ein geringeres werde; ferner müssen die äusseren abwärtsgerichteten Strömungen aus dem Schornstein abgehalten werden. Beide Zwecke erreicht man durch Schornsteinkappen.

§. 207.

Einfluss des Regens auf die Luftströmung in den Schornsteinen.

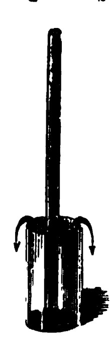
Wenn durch andauernden Regen, vor welchem ein Schornstein nicht geschützt ist, die Schornsteinwände sehr nass geworden sind, so muss ein grosser Theil der Wärme dem Schornstein dadurch geraubt werden, dass sich das Wasser in Dampf verwandelt. Nun theilt sich dieser Dampf der Luft im Schornstein mit, was, sobald der Dampf einmal als solcher vorhanden, dem Zuge nur nützen kann; denn die feuchte Luft ist specifisch leichter als die trockne Luft von gleicher Temperatur und Spannkraft (§. 57). Allein wegen des grossen Wärmeverlustes, welchen bei der Dampfbildung der Schornstein und folglich die Luftsäule in demselben erleidet, ist die Feuchtigkeit im Schornstein dem Zuge nachtheilig.

Höchst unangenehm ist es ferner, wenn die aus der Vermengung des Regenwassers mit dem Russ gebildete schmutzige Flüssigkeit durch die Ofenröhren und an den gemalten oder tapezierten Wänden zum Vorschein kommt, und dazu noch den bekannten schlechten Schornsteingeruch verbreitet. Solche Fälle sind nicht selten. Es ist aus diesen Gründen jedenfalls rathsam, Vorkehrungen zur Abhaltung des Regens zu treffen.

Um sich auf dem Wege des Versuchs im Kleinen von der nachtheiligen Wirkung der Feuchtigkeit an und in einem Schornstein zu überzeugen, fertige man sich, etwa nur aus starkem Papier, eine Röhre, etwa ½ Meter lang und einige Centimeter weit. Befand sich die Röhre einige Zeit in dem Raume, in welchem man das Experiment vornimmt, so hat sie die Temperatur der Luft des Raumes angenommen, und nun ist keine Ursache vorhanden, wesshalb eine Luftbewegung durch die Röhre veranlasst werden sollte, wenn man sie (wie in Fig. 240) in ein mit Rauch gefülltes Glas stellt. Bei gehöriger Ruhe und Vorsicht wird auch der Rauch ruhig im Glase bleiben.

Hat man aber die Röhre stark mit Wasser benetzt, so wird der Rauch aus dem Glase verdrängt, fliesst über den Rand des Glases herab (Fig. 242). Daraus muss man schliessen, dass durch die Röhre kalte Luft auf den Boden des Glases geführt wird. Man erkennt dieses auch deutlich, indem man ganz ruhig Cigarrenrauch gegen die obere Mündung der Röhre haucht. Derselbe sinkt durch die Röhre hinab in das Glas. Bläst man nun (nach Fig. 241) mässig stark in schräg aufwärtsgehender Richtung gegen den oberen Theil der Röhre, so fliesst der Rauch aus dem Glase in die Röhre und kommt über deren oberer Mündung zum Vorschein. Nun ist die Röhre mit Rauch gefüllt. Sobald man mit dem Blasen aufhört, sinkt der noch in der Röhre vorhandene Rauch in das Glas zurück.

Fig. 242.



§. 208.

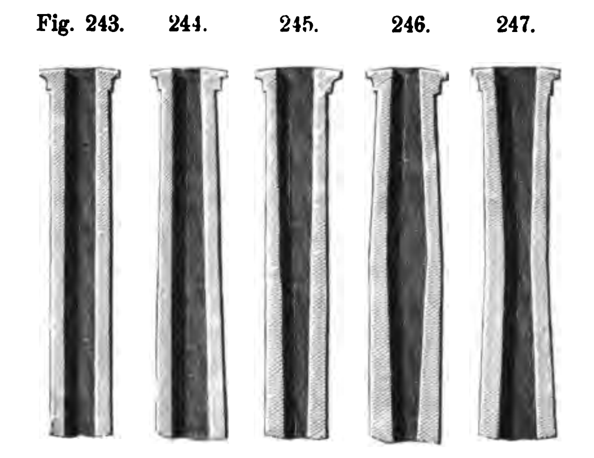
Schornsteinformen.

Obwohl die Formen und Dimensionen der Schornsteine grossentheils durch baupolizeiliche Vorschriften festgestellt sind, so finden doch verschiedene Anordnungen Statt. Es wird die Form des Längenschnittes und die des Querschnittes zu besprechen sein.

Was die Form des Längenschnittes betrifft, so lassen sich alle Schornsteinformen auf folgende fünf principiellen Formen zurückführen:

1) Der Schornstein ist mit parallelen Wänden ausgeführt (Fig. 243);
2) oben verengt, verjüngt (Fig. 244);
3) oben erweitert (Fig. 245);
4) in der Mitte erweitert, ausgebaucht (Fig. 246);
5) in der Mitte verengt, zusammengezogen (Fig. 247).

Fig. 243. 244. 245. 246. 247.



Es sollen diese Formen der Reihe nach besprochen werden.

Der Schornstein mit parallelen Wänden gestattet dem Rauche eine vollständig gleichmässige Bewegung; denn durch jeden Querschnitt in der ganzen Höhe kann und muss in derselben Zeit ein gleiches Volumen der Rauchsäule fliessen. Der Schornstein mit parallelen Wänden ist also zweckmässig.

Bei dem verjüngten Schornstein findet die grösste Geschwindigkeit an der oberen Mündung Statt; allein die theoretische Geschwindigkeit daselbst ist nicht grösser als unter gleichen Umständen, d. h. wenn die Luft von derselben Temperatur ungehindert zufliessen kann, bei dem Schornstein mit parallelen Wänden.

Da nun die Geschwindigkeit in den grösseren Querschnitten, also im unteren Theile des verjüngten Schornsteins eine geringere ist, so ist der Reibungswiderstand in dieser Röhre geringer. Weil aber die grössere Ausdehnung der Wände eine grössere Absorption und Transmission von Wärme aus den Verbrennungsproducten veranlasst, auch die vertical emporgehobenen Lufttheilchen in grosser Anzahl gegen die schräge

Wand stossen und dann sich gegen die Mitte zusammendrängen, wodurch die Wirkung des Beharrungsvermögens grossentheils verloren geht; so tritt bei der geringen Geschwindigkeit sehr leicht der Umstand ein, dass die schon mehr abgekühlten specifisch schwereren Rauchtheilchen an den Schornsteinwänden zurückfliessen. Dass man den Schornstein aus dem Grunde verjünge, weil der Rauch auf seinem Wege sich abkühle und desshalb ein kleineres Volumen einnehme, das hat etwas für sich; doch ist diese Volumenverminderung bei nicht grossen Höhen zu unbedeutend, als dass man sie beachten müsste. Und wenn in Folge dieser Volumenverminderung bei dem cylindrischen Schornstein eine entsprechend geringe Verminderung der Geschwindigkeit eintritt, so ist das in Bezug auf die Reibung nur vortheilhaft. Der verjüngte Schornstein wird desswegen, trotz seiner vielfachen Anwendung als weniger zweckmässig zu bezeichnen sein. Sehr hohe Schornsteine werden gewöhnlich mit inneren Absätzen verjüngt ausgeführt, was in Rücksicht auf die Stabilität und die Backsteindimensionen gerechtfertigt ist.

Der oben erweiterte Schornstein veranlasst eine, den vergrösserten Querschnitten entsprechend, nach oben abnehmende Geschwindigkeit der Rauchbewegung. Dieser Umstand ist in Bezug auf Verminderung der Reibung willkommen. Weil aber der Rauch, wenn er nicht mit sehr grosser Geschwindigkeit in den Schornstein eintritt, oder wenn die Erweiterung sehr bedeutend ist, den Schornstein nicht vollständig ausfüllt, sich auch schnell abkühlt, so wird der Zug eines solchen Schornsteins bei ruhiger Luft ein verhältnissmässig geringer sein. Auch treten darin sehr leicht Doppelströmungen auf; doch ist es nicht leicht möglich, dass der Rauch in Folge davon in den Herd zurücktritt, weil die Geschwindigkeit und folglich die aufwärtsgerichtete Kraft der Strömung im unteren Theile des Schornsteins meist bedeutend genug ist, um der abwärtsgehenden Bewegung geringer abgekühlter Rauchmengen zu widerstehen. Ein ungünstig gerichteter starker Wind kann jedoch wegen der geringen Geschwindigkeit der Rauchströmung am oberen Theile sehr leicht, wenn er in die Mündung gelangen kann, die ganze Rauchsäule zurückdrängen. Versieht man die weite Oeffnung mit einer passenden Vorrichtung, welche den ungünstigen Wind abhält oder ihn zu einem günstigen umlenkt, so kann der nach oben pyramidal oder conisch allmählich oder in Absätzen erweiterte Schornstein sehr zweckmässig sein. Die Erfahrung gibt hierfür auch zahlreiche Belege.

Der in der Mitte erweiterte Schornstein kann als eine Zusammensetzung des oben erweiterten und oben verengten angesehen werden; ebenso der in der Mitte verengte. Demnach haben beide

in Bezug auf Verminderung der Reibung etwas für sich, stehen aber, ähnlich wie der verjüngte Schornstein, dessen Nachtheile sie haben, jedenfalls dem Schornstein mit parallelen Wänden nach. Sehr unzweckmässig ist es wenigstens, eine Rauchröhre in jenem Theile der Schornsteinwand anzubringen, welche gegen die Schornsteinaxe hin geneigt ist, wo also der Rauch aus einem weiteren Querschnitte in einen engeren gepresst wird.

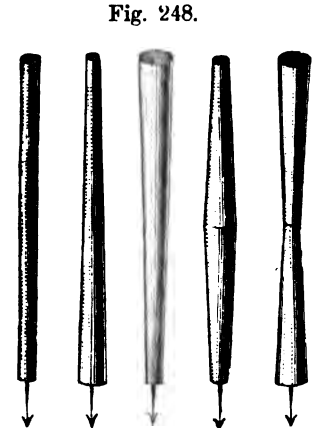
Die Form des Schornsteinquerschnittes ist am besten die kreisförmige, weil von allen gleich grossen Querschnittsflächen die Kreisfläche den kleinsten Umfang hat, somit der Reibungswiderstand bei der cylindrischen Röhre kleiner ist, als bei der rechteckig und auch quadratisch prismatischen. Ein rechteckiger Querschnitt, welcher bedeutend von der Form des Quadrates abweicht, ist überdies desshalb unzweckmässig, weil in einem Schornstein von solchem Querschnitte unter sonst gleichen Verhältnissen am leichtesten Doppelströmungen entstehen.

§. 209.

Experimente zur Veranschaulichung der Luftbewegung bei verschiedenen Schornsteinformen.

Man fertige aus Pappe oder festem Papier fünf Röhren von den oben angeführten Grundformen. Die Länge mag etwa $1/2$ Meter, die mittlere Weite einige Centimeter betragen.

Fig. 248.



Zunächst fülle man eine Röhre nach der anderen mit Cigarrenrauch an und halte dieselbe in eine an der Aussenwand liegende Ecke des geheizten Zimmers. Bei sämmtlichen Röhren fliesst der Rauch unten aus und nahezu vertical hinab nach dem Boden (Fig. 248).

Sehr natürlich. In einem geheizten Zimmer wird die Luft, welche sich am Ofen erwärmt, von den kälteren Schichten an die Decke gehoben, breitet sich da zunächst horizontal aus und sinkt alsdann, an den Wänden und besonders in den kalten Ecken rasch abgekühlt, dort als kältere specifisch schwerere Luft herab. Zudem ist auch der Rauch specifisch schwerer, als reine Luft

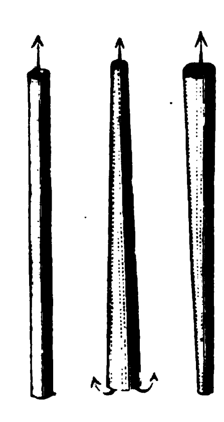
von derselben Temperatur, und hat nicht, wie man sich häufig ausdrückt, ein eigenthümliches Bestreben zu steigen; er wird aber leicht in den Strömungen der Luft mit fortgerissen, in welche er gerade gelangt, worin sich die sichtbaren Theilchen des Rauches so zu sagen aufgehängt befinden. Es ist also im vorliegenden Falle keine Ursache vorhanden, wesshalb von irgend einer der Röhren der Rauch nicht unten hätte ausfliessen sollen.

Die von Neuem mit Rauch gefüllten Röhren mögen nun in die emporströmende warme Luft am warmen Ofen gehalten werden.

Bei der geraden Röhre (Fig. 249) fliesst der Rauch vollständig und gleichmässig oben aus. Die von unten nach oben mit gleichförmiger Bewegung durch die Röhre fliessende warme Luft hebt denselben empor.

Bei der verjüngten Röhre (Fig. 250) dagegen fliesst er theilweise oben, grossentheils aber am unteren Rande aus und steigt ausserhalb der Röhre empor. Der specifisch schwerere Rauch kann offenbar durch die mit zu geringer Geschwindigkeit in dieser Röhre emporfliessende warme Luft nicht so vollständig mit emporgerissen werden, wie bei der geraden Röhre oder in der Luftströmung ausserhalb der Röhre. Während die Hauptmasse der Luft in der Röhre sich träge erhebt, bildet ein Theil des kälteren Rauches an den Wänden herab eine Gegenströmung.

Fig. 249. 250. 251.



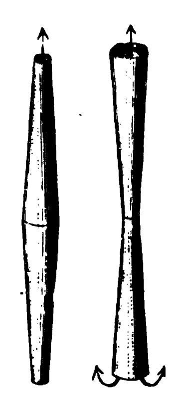
Bei der oben erweiterten Röhre (Fig. 251) fliesst der Rauch vollständig oben aus; allein es ist dazu verhältnissmässig lange Zeit nöthig. Durch die untere kleine Oeffnung, welche beständig von dem warmen aufwärtsgerichteten Luftstrom ausgefüllt wird, kann der, wenngleich specifisch schwerere, Rauch nicht austreten; er muss sich also allmählich mit der warmen Luft mischen und so mit dieser entweichen. Die Ausflussgeschwindigkeit ist hiebei eine geringe.

Auch bei der in der Mitte erweiterten Röhre (Fig. 252) fliesst sämmtlicher Rauch oben aus, und obgleich das mit einer ebenso grossen Geschwindigkeit, wie bei der cylindrischen Röhre geschieht, so ist doch zum vollständigen Entweichen des Rauches eine längere Zeit nöthig. Auch hier kann der Rauch durch die kleinere untere Oeffnung

nicht entweichen, muss sich mit der daselbst eindringenden warmen Luft fortwährend mischen.

Bei der in der Mitte verengten Röhre (Fig. 253) fliesst ein grosser Theil des Rauches unten aus, nämlich der grösste Theil des in der unteren Hälfte befindlichen Rauches, während jener Theil, welcher die obere Hälfte anfüllt, offenbar nicht durch die Verengung herabkommen kann.

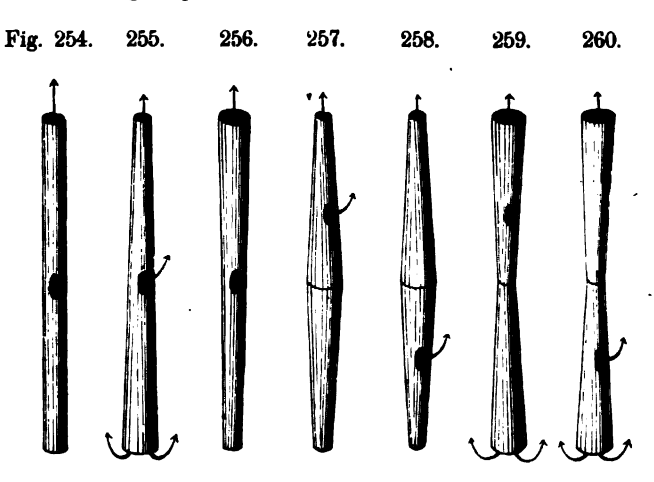
Fig. 252. 253.



Um diese Versuche in etwas veränderter Weise anzustellen, schneide man in jede Röhre nahe an deren Mitte eine gleich grosse Oeffnung und halte dann jede Röhre, der Reihe nach mit Rauch gefüllt, wieder an dieselbe Stelle des Ofens wie vorher. Die Erscheinungen, welche sich nun ergeben müssen, sind leicht aus der figürlichen Darstellung (Fig. 254 bis 260) zu erkennen und nach Obigem zu erklären, so dass eine weitere Auseinandersetzung dieser Erscheinungen überflüssig sein wird.

Aus diesen Experimenten in Verbindung mit den früheren Untersuchungen wird man den Schluss ziehen dürfen, dass die pyramidale oder conische Verengung der Schornsteine nach oben nicht zweck-

Fig. 254. 255. 256. 257. 258. 259. 260.



mässig ist, dass dagegen die umgekehrte Anordnung bei nicht grosser Erweiterung nicht schadet. Da nun aber der Schornstein mit parallelen Wänden noch die Vortheile der leichteren Ausführung und bequemeren Reinigung bietet, so ist, wenigstens bei nicht sehr hohen Schornsteinen,

kein erheblicher Grund vorhanden, von dieser einfachsten Form abzuweichen, wo es sich um Schornsteine der Feuerungsanlagen handelt. Bei Ventilationsschornsteinen kann die Erweiterung nach oben unter Umständen nothwendig sein.

§. 210.

Schornsteindimensionen.

Die Höhe. — Dass eine bedeutende Höhe des Schornsteins für den Zug von Nutzen ist, geht aus den Geschwindigkeitsformeln hervor. Doch hat auch die Höhendimension eine bestimmte Grenze, bei welcher das Zunehmen der Höhe nicht mehr nützen, im Gegentheile schaden müsste. Man hat nämlich unter T die mittlere Temperatur der warmen Luft im Schornstein zu verstehen; offenbar aber wird, wenngleich die Temperatur der aus dem Feuerraum in den Schornstein fliessenden Verbrennungsproducte für einen bestimmten Fall als eine constante angenommen werden mag, die mittlere Temperatur im Schornstein mit dessen Höhe geringer; denn die erhitzten Gase kühlen sich auf ihrem Wege durch den Schornstein beständig ab, bis sie die Temperatur der Schornsteinwandung oder die der äusseren Luft angenommen haben. Als grösste nützliche Höhe, Maximalhöhe, muss hienach diejenige Höhe angesehen werden, bei welcher sich die warme Luft auf die Temperatur der äusseren Luft abgekühlt hat. Bei noch grösserer Höhe müsste eine Luftsäule mit emporgehoben werden, die vermöge ihres specifischen Gewichts allerdings den resultirenden aërostatischen Druck im Schornstein nicht ändert, indem die fragliche kalte Luftsäule mit einer gleichen Luftsäule ausserhalb des Schornsteins im Gleichgewicht ist. Allein in Bezug auf die Bewegung der ganzen Luftsäule des Schornsteins ist die durch die noch zu hebende obere Luftsäule verursachte Reibung nachtheilig.

Dagegen ist aber auch nicht ausser Acht zu lassen, dass die Luftströmungen in den höheren Regionen der Atmosphäre viel heftiger und regelmässiger sind, dass also eine grössere Höhe selbst bei starker Abkühlung der Verbrennungsproducte vortheilhaft sein kann, namentlich wenn man gut construirte Windkappen anwendet.

Die Grösse des Querschnittes. — Der aërostatische Druck pflanzt sich durch das ganze System der Rauchröhren und des Schornsteins gleichmässig fort. Durch diesen bestimmten Druck und die bestimmten Reibungswiderstände ist eine Geschwindigkeit bestimmt, und

sonach ist auch die **Rauchmenge**, welche durch das System in einer gewissen Zeit fliessen kann, **eine bestimmte.**

Es handelt sich fast bei einer jeden Feuerungsanlage darum, die im Feuerraum erzeugten Verbrennungsproducte, den Rauch, mittels des Schornsteins möglichst schnell und ungehindert in die Atmosphäre zu führen. Nun ist klar, dass die möglicher Weise abzuführende Rauchmenge nach dem **engsten Querschnitte** berechnet werden müsste, weil nur in diesem die grösstmögliche berechnete Geschwindigkeit stattfinden kann. Um also die **Ausflussmenge des Rauches für die Secunde in Cubikmeter zu bestimmen, hat man den nach Quadratmeter ausgedrückten engsten Querschnitt mit der wirklichen Geschwindigkeit in Meter zu multipliciren.** Wollte man von den Reibungswiderständen absehen, so wäre kein Grund vorhanden, dem Schornstein einen grösseren Querschnitt zu geben, als der Summe derjenigen Rauchröhren, welche in diesen Schornstein münden. In Rücksicht auf die Reibungswiderstände jedoch ist eine Vergrösserung des Querschnittes schon unmittelbar von Nutzen, und noch mehr wegen der dadurch erfolgenden geringeren Geschwindigkeit, da die Geschwindigkeit den Reibungswiderstand im quadratischen Verhältnisse vergrössert. Die Vergrösserung des Querschnittes ist aber nicht in dem Masse zu übertreiben, dass der warme Rauch während seines Emporsteigen den ganzen Schornstein nicht ausfüllen kann, dass er vielmehr im Schornstein selbst schon in getrennten Massen durch Doppelströmungen allmählich emporgeschafft wird, wobei er theilweise erkaltet wieder herabsinken muss; oder dass endlich der Rauch in Folge der bedeutenden Wärmeabsorption durch die ausgedehnten Schornsteinwände, zwischen denen er mit geringer Geschwindigkeit emporgehoben wird, zu schnell erkaltet.

Bei gewöhnlichen Stuben- und Küchen-Feuerungen wird es mit Bezugnahme auf Reibungsverminderung einerseits, andererseits auf die zu gewissen Zeiten geringe Entwicklung von Wärme und Rauch, passend sein, **den Querschnitt des Schornsteins doppelt so gross zu machen, als den Querschnitt der in denselben mündenden Rauchröhre.**

Der Querschnitt einer solchen Rauchröhre ist bei 100 qcm reichlich gross. Der Querschnitt des Schornsteins könnte also in diesem Falle 200 qcm haben. Fragt man nach dem Durchmesser D für einen kreisförmigen Querschnitt von 200 qcm, so ergibt sich derselbe aus der Gleichung:

$$\frac{1}{4} D^2 \,.\, 3{,}14 = 200$$

$$D = 16$$

Bei einem Schornstein für eine einzige gewöhnliche Feuerung wäre also ein Durchmesser von 16 cm reichlich gross, und es genügen erfahrungsgemäss auch 15 cm.

Da sich die Grössen ähnlicher Flächen wie die Quadrate der Durchmesser verhalten, so braucht erst bei 4fachem Querschnitte der Durchmesser doppelt so gross, also gleich 30 cm zu sein. In einen solchen Schornstein aber, der nun bei kreisförmigem Querschnitte nahezu 707 qcm hat, dürfen schon fünf oder sechs Feuerungen geführt werden, selbst unter der Voraussetzung, dass in sämmtlichen gleichzeitig gefeuert werde; denn der Reibungswiderstand wird bei dem vergrösserten Querschnitte verhältnissmässig geringer.

Doch ist es aus anderen Gründen zuweilen nicht rathsam, so viele Feuerungen in einen Schornstein münden zu lassen. Davon mehr in §. 212 und 213.

§. 211.

Materialien für Schornsteine.

Die Schornsteine werden in der Regel mit gewöhnlichen gebrannten Steinen oder mit Formsteinen aufgemauert und innen glatt ausgestrichen. Ob übrigens die innere Schornsteinwand etwas mehr oder weniger glatt ist, darauf kommt es nicht besonders an; denn nach einiger Zeit sind die Schornsteinwände mit Russ belegt, und dann ist der Einfluss der Beschaffenheit der Wand auf den Reibungswiderstand in allen Schornsteinen fast derselbe.

Die Punkte, welche man bei der Wahl des Schornsteinmaterials hauptsächlich berücksichtigen muss, sind folgende:

1) Geringes Vermögen die Wärme abzuleiten;
2) Wohlfeilheit;
3) geringe Porosität.

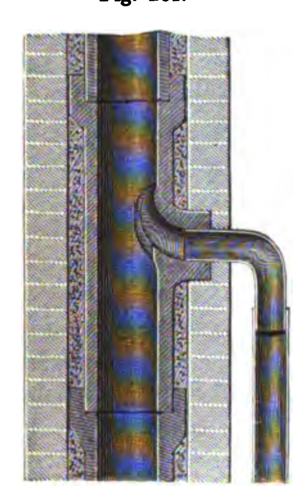
Die Porosität ist aus doppeltem Grunde nachtheilig: einmal kann die schmutzige übelriechende Schornsteinfeuchtigkeit sich in die zunächst liegenden Wände verbreiten; ferner bietet das poröse Material eine Menge von Durchgängen dar, durch welche bei starker relativer oder absoluter Luftverdünnung im Schornstein, zumal wenn noch eine starke Pressung des Windes aussen einwirkt, kalte Luft fein vertheilt in den Schornstein eindringen kann. Dadurch muss der Effect des Schornsteins bedeutend vermindert werden. Aus diesem Grunde ist gewöhnliches Mauerwerk nicht das zweckmässigste Schornsteinmaterial.

Metall wäre in dieser Hinsicht vorzuziehen; allein das grosse Wärmeleitungsvermögen und der Kostenpunkt stehen dieser Wahl oft entgegen. Sogenannte Schwemmsteine sind zu porös.

Am zweckmässigsten ist die Einrichtung, eigens geformte, hauptsächlich zur Verminderung der Porosität glasirte Röhren aus Thon oder Steingut in der Weise aufzuführen, dass ein hohler Raum um die Röhren herum im Mauerwerke ausgespart bleibt, und die Röhren sich nur mit dem Ansatzringe, dem sogenannten festen Muff, an das Mauerwerk anlehnen (Fig. 261).

Die hohlen Räume um die Röhren herum füllt man mit Asche aus. Dadurch wird die Röhre viel besser vor Abkühlung geschützt, als durch die nur aus Luft gebildeten Isolirschichten. Die Luftschicht müsste eine vollkommen ruhige sein, um als ein so schlechter Wärmeleiter zu dienen, wie man gewöhnlich annimmt; eine ruhige Luftschicht kann aber nicht vorhanden sein, wo dieselbe, wie im vorliegenden Falle, von der einen Seite erwärmt, von der anderen Seite abgekühlt wird. Auch der Wärmestrahlung von der Röhre gegen das Mauerwerk ist durch die Luftschicht kein Widerstand entgegengesetzt.

Fig. 261.



Die Röhren sollen nicht in solcher Weise zusammengesetzt werden, dass die obere Röhre am Stosse die untere umfasst, sondern umgekehrt, nämlich so wie es die obige Zeichnung darstellt. Im ersten Falle würde durch die etwa undichten Fugen die Schornsteinfeuchtigkeit aus der Röhre dringen und sich der Aschenschicht und dem Mauerwerk mittheilen.

Dieser Umstand verdient auch bei der Zusammensetzung der Ofenröhren Berücksichtigung, wenn man das bei langen Röhren schlecht ziehender Feuerungsanlagen vorkommende unangenehme Herabrinnen von Russflüssigkeit vermeiden will. Es ist desshalb auch diese bessere Zusammensetzung in obiger Figur angedeutet.

Schornsteine von Gusseisen für den Rauch werden vortheilhaft innerhalb viel weiterer gemauerter Ventilationsschornsteine emporgeführt; in diesem Falle ist die gute Wärmeleitung des Metalls erwünscht.

§. 212.

Gemeinsame Schornsteine für mehrere Feuerungen.

Münden in einen Schornstein mehrere Ofenröhren, und zwar in gleicher Höhe, so wird unter gleichen Umständen in allen der Zug oder richtiger der Ueberdruck und die dadurch verursachte Luftbewegung gleich stark sein und ebenso genügend stark wie bei nicht gemeinsamen Schornsteinen, wenn der Querschnitt des Schornsteins grösser ist als die Summe der Querschnitte der Rauchröhren, und wenn die einzelnen Luftströme im Schornstein nicht so auf einander stossen, dass sie sich wechselseitig schwächen. Letzteres ist der Fall, wenn zwei gegenüberliegende Röhren in gleicher Höhe horizontal in den Schornstein münden. Man soll desshalb die Rauchröhren nicht in horizontaler, sondern in verticaler oder schräger Richtung in den Schornstein münden lassen, oder, wenn die horizontale Einmündungsweise, die für die Ausführung bequemer ist, beibehalten wird, die Einmündungen in verschiedene Höhen legen. Eine Höhendifferenz von $1/2$ Meter ist genügend.

Wenn aber der Schornstein durch das Feuern in einem der Oefen erwärmt wird, so entsteht ein Ueberdruck auch für die Luft in den anderen Oefen, und aus allen strömt die Luft in den Schornstein, dabei also viel kalte Luft, welche den Zug schwächt. Es ist angenommen, dass die Oefen nicht mit den gefährlichen dicht schliessenden Ofenklappen versehen sind; aber auch wenn diese vorhanden sein sollten, ist doch selten anzunehmen, dass sie dicht geschlossen sind, wie es ja bekanntlich auch in Bezug auf die Schieber und Thüren an den Feuerräumen u. dgl. der Fall ist. Der Zug des geheizten Ofens würde besser sein, wenn dieser allein in den Schornstein münden würde, wenngleich der Schornstein bedeutend enger wäre. Der Zug nimmt aber zu, wenn auch die übrigen Oefen geheizt werden, und in solchem Falle müssten die Luftschieber an den Heizthüren mehr geschlossen werden als für gleichen Wärmebedarf bei einzelner Heizung, wobei wegen des Einströmens kalter Luft der Schornstein weniger erwärmt wird. Die veränderliche Regulirung des Feuers erfordert also mehr Aufmerksamkeit.

Daraus geht hervor, dass es am zweckmässigsten wäre, einem jeden Ofen seinen eigenen Schornstein zu geben. Indessen lässt sich nicht verkennen, dass es in Bezug auf die Baukosten und die Festigkeit der Mauern, Balkenlagen und des Dachwerks zu rechtfertigen ist, wenn man die Anzahl der Schornsteine zu beschränken sucht und desshalb zwei oder drei Oefen eines Stockwerks in einen Schornstein von entsprechender Weite münden lässt, was in der Praxis auch gewöhnlich geschieht.

Anders gestaltet sich die Sache für Feuerungen in mehreren Stockwerken. Da gilt nicht allein das bereits von der Abkühlung der warmen Schornsteinluft Gesagte, sondern es ist auch der Ueberdruck der Aussenluft gegen den Schornstein hin in den verschiedenen Stockwerken sehr ungleich. Wenn die sämmtlichen Oefen geheizt werden, ist der Zug in den unteren Oefen viel stärker als in den oberen, und wenn der Schornstein oben nicht reichlich weit ist, kann es vorkommen, dass die aus den unteren Oefen kommenden Luftmassen den Schornstein so vollständig einnehmen, dass aus den oberen Oefen keine Luft mehr in den Schornstein gelangen kann. Bei Verengung der oberen Schornsteinmündung kann sogar der Rauch der unteren Oefen theilweise seinen Weg durch die oberen Oefen in die Zimmer nehmen, wie es vollständig bei oben geschlossenem Schornstein der Fall sein würde.

An vielen Orten ist es üblich, die Rauchröhren verschiedener Stockwerke in einen gemeinsamen Schornstein zu führen, und ich habe in mehreren Fällen gefunden, dass es ohne Nachtheil geschah, wenn die Schornsteine in geeigneten Dimensionen bis über die First emporgeführt und durch zweckmässige Kappen gegen schädliche Einflüsse atmosphärischer Zustände geschützt, und namentlich wenn die einmündenden Feuerungen zum Theil Küchenherde waren. Ein Experiment dieser Art habe ich in meinem eigenen im Jahre 1871 erbauten Hause, welches in zwei Stockwerken zwei mittelgrosse Familienwohnungen enthält, ausgeführt. Ich habe daselbst nur einen steigbaren Schornstein von 45 Centimeter Weite, in diesen münden im Kellergeschoss die Rauchröhren zweier Luftheizungsöfen und die Waschkesselfeuerung, auch eine die Ventilation der oberen Abtritte bewirkende Verbindungsröhre der Fallröhre mit dem Schornstein, in jedem der beiden Stockwerke die Küchenfeuerungen, und ausserdem sind noch in der Waschküche, den Küchen und Schlafzimmern Lüftungsöffnungen an demselben Schornstein angebracht. Diese Einrichtung hat sich so bewährt, wie ich es erwartet hatte. Der Zug der einzelnen Feuerungen ist zwar von der Benützung der übrigen und der Ventilationsöffnungen abhängig, und die letzteren müssen zuweilen beim Anmachen des Feuers geschlossen werden. Allein auch in der oberen Küche ist der Zug noch reichlich gut, und Klagen sind in keiner Weise vorgekommen. Allerdings befindet sich die Einmündung der oberen Herdröhre noch etwa 7 Meter unter der mit einem Rauch- und Luftsauger bekrönten Schornsteinmündung, und von besonders günstigem Einfluss ist der Umstand, dass in Folge der Einmündung zweier Küchenfeuerungen der Schornstein täglich und regelmässig erwärmt, niemals stark abgekühlt wird.

In anderen Häusern, und zwar bei weiteren und engeren für die Oefen mehrerer Stockwerke gemeinsamen Schornsteinen habe ich öfters beobachtet, dass Rauch von den unteren Oefen in die oberen Zimmer kam, mitunter beim Anmachen des Feuers in den oberen Zimmern auch, dass der Rauch in die unteren herabfloss, obwohl die Schornsteine mit Saugern versehen waren. Die Ursachen waren theils in zu grosser Kälte des Schornsteins, theils in äusseren Luftstauungen, theils in überwiegendem Saugen des Windes an den Oeffnungen auf der vom Winde abgewendeten Seite des Gebäudes zu finden.

Da es bei Erbauung eines Hauses schwierig ist, die verschiedenen Situations- und Benützungsverhältnisse, welche von Einfluss sein können, richtig zu beurtheilen und zu berücksichtigen, und da überdies die Behandlung irgend einer Feuerung unabhängig von anderen gewöhnlich bequemer nnd ökonomischer ist, kann für die meisten Fälle als das Beste empfohlen werden, einer jeden Feuerung ihren besonderen Schornstein zu geben, oder wenigstens gemeinsame Schornsteine nur für Feuerungen in gleichem Stockwerk in Anwendung zu bringen, wenngleich mitunter ohne Nachtheil von dieser Regel abgewichen werden könnte. Ein Fall vortheilhafter Abweichung ist, dass ein selten geheizter Ofen, welcher einen besonderen aber kalt situirten Schornstein hat, beim Anmachen des Feuers mehr Schwierigkeit macht und leichter raucht, als wenn er in einen gemeinsamen und folglich wärmeren Schornstein mündet. Man muss einfache Schornsteine möglichst so zusammenlegen, dass sie sich gegenseitig warm halten und dass die Wärmeverluste möglichst gering werden.

§. 213.

Experimente zur Veranschaulichung des Vorausgehenden.

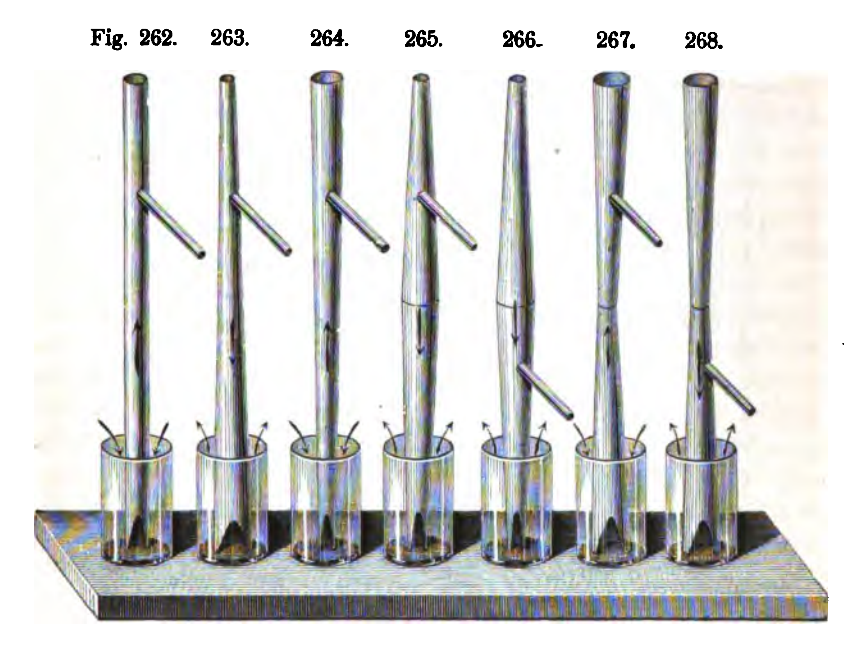
Um zu sehen, dass es unter normalen Umständen bei geeigneten Schornsteinformen principiell zulässig wäre, die Ofenröhren verschiedener Stockwerke in einen gemeinschaftlichen Schornstein zu führen, bringe man in einer Seitenöffnung der verschiedenen oben dargestellten Röhren ein Glasröhrchen an und stelle die Hauptröhre in ein offenes Glas, das man jedesmal mit Rauch anfüllt, ehe man in das Seitenröhrchen Rauch oder Luft einbläst (Fig. 262 bis 268).

Durch dieses Einblasen wird offenbar eine ganz ähnliche Luftbewegung in der Röhre veranlasst, wie durch den überwiegenden äusseren Druck an der Heizthür, sobald das Feuer im Ofen brennt.

Nun wird bei den über der Einblaseöffnung verengten Röhren (Fig. 263, 265, 266, 268) der daselbst eingeblasene Rauch theilweise hinab in das Glas gedrängt und fliesst sammt dem dort vorhandenen Rauche aus dem Glase selbst aus, gleichwie zuweilen der Rauch in die unteren Stockwerke, wo zu der Zeit gar nicht geheizt wird, zurückfliesst.

Bei den übrigen Röhren fliesst während des Blasens auch noch der Rauch aus dem Glase durch die Röhre oben aus. In

Fig. 262. 263. 264. 265. 266. 267. 268.



ähnlicher Weise wird also bei richtiger Anlage die Heizung im oberen Stockwerke einen Zug in den tieferen Oefen veranlassen.

Um sich ferner den Einfluss zu veranschaulichen, den das Heizen im unteren Stockwerke auf die Luft in den Oefen, Zimmern u. dgl. des oberen Stockwerks ausübt, verändere man die Vorrichtungen in der Weise, dass man die Hauptröhren durch Kork unten dicht schliesst und daselbst das enge Glasröhrchen zum Einblasen einsetzt, dagegen an der Seite ein etwas weiteres Glasröhrchen, welches in das mit Rauch gefüllte Glas hinabreicht (Fig. 269 bis 275).

Die Erscheinungen sind hier den ersteren ähnlich, nämlich nur dann ungünstig, wenn sich überhaupt über dem in die

Hauptröhre dringenden Luftstrome eine Verengung befindet, welche die Luftbewegung in gewissem Grade hemmt (Fig. 270, 272, 273, 275).

Man erkennt aus den beigefügten Darstellungen, welche die jedesmal erfolgende Luftbewegung hinlänglich verdeutlichen, dass das Heizen in einem unteren Stockwerke auch einen Zug in den Oefen der oberen Stockwerke veranlassen muss, wenn die Anlage nicht verfehlt ist.

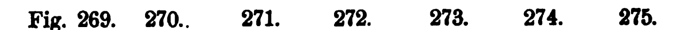


Fig. 269. 270. 271. 272. 273. 274. 275.



Es ist aber in der Anwendung nicht genug, für einen Ofen überhaupt eine Luftströmung in geeigneter Richtung zu haben, diese muss auch eine bestimmte Geschwindigkeit erreichen können, der Ofen muss, wie man sagt, nicht nur ziehen, sondern gut ziehen, um das Local entsprechend zu erwärmen.

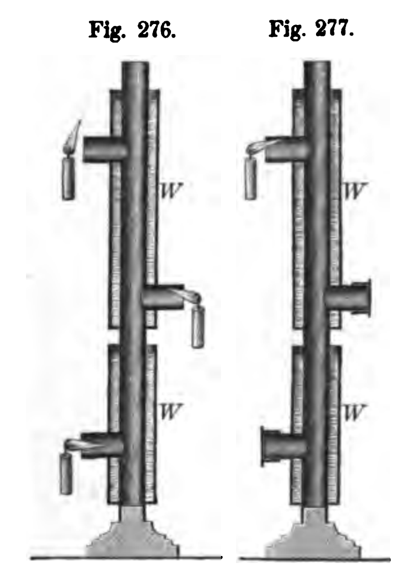
Zur Beurtheilung des Gegenstandes in dieser Hinsicht hat Meidinger einen sehr instructiven einfachen Apparat ersonnen, welchen die Figuren 276 bis 281 in verschiedenen Modificationen zeigen.

Auf einen gusseisernen Fuss, der Stabilität wegen von grossem Gewicht (2 kg), ist vertical eine Röhre gestülpt, an welcher in geeigneten Abständen drei horizontale Schenkel, kurze Seitenröhren, angesetzt sind, welche die Rauchröhrenmündungen von Oefen dreier übereinander befindlicher Stockwerke vorstellen. Die verticale Röhre ist in zwei Theilen

hergestellt, einem längeren und einem kürzeren Stück, und jedes mit einem Mantel umgeben, um in den Zwischenraum kaltes oder warmes Wasser giessen zu können.

Erster Versuch (Fig. 276). Die Mäntel sind mit warmem Wasser gefüllt; die Temperatur des Wassers mag nur etwa 5° höher sein als die des Versuchsraumes. Man zündet die vor den drei Seitenröhren befindlichen Kerzen an. Sofort gibt sich ein bedeutender Unterschied zu erkennen in der Stärke, mit welcher die Flammen in die Röhre eingeblasen werden*): die unterste ist horizontal, die mittlere etwas schief, die oberste fast vertical, nur schwach in die Röhre hineinziehend. Schliesst man die mittlere und untere Seitenöffnung, so wird die oberste Flamme lebhaft eingeblasen (Fig. 277). Schliesst man dagegen die beiden obersten Oeffnungen und lässt die unterste offen, so wird die Richtung der unteren Flamme nicht merklich verändert.

Fig. 276. Fig. 277.



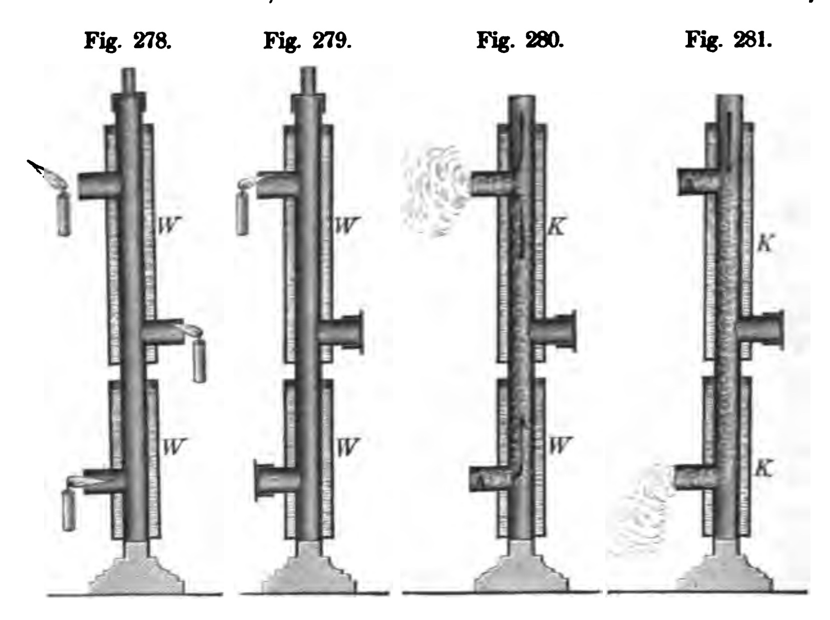
Hieraus ist der Schluss zu ziehen, dass bei gemeinsamen Hausschornsteinen, die gleichweit gebaut sind und in ihrer vollen Weite oben ausmünden, der Zug im untersten Stockwerk stark und fast unveränderlich ist, in den oberen Stockwerken schwächer und um so schwächer, je höher nach oben, wobei es ziemlich gleichgültig ist, ob unten Feuer brennt oder nicht. Der Zug ist jedoch auch dann stark in den oberen Stockwerken, wenn diese einen besonderen Schornstein haben.

Zweiter Versuch. Man verengt die obere Mündung der Röhre auf $^2/_3$ der Weite durch Aufsetzen eines kleinen Hutes (Fig. 278). Die Erscheinungen an den beiden unteren Oeffnungen sind im Wesentlichen dieselben wie vorhin, aber die obere Flamme wird durch einen austretenden Luftstrom zurückgeblasen. Setzt man ein glimmendes Räucherkerzchen in den unteren oder mittleren Schenkel, so sieht man den Rauch aus dem obersten ausfliessen.

*) „Eingeblasen" ist der eigene Ausdruck Meidinger's; er wird Manchen sonderbar vorkommen, aber er ist richtig. Die meisten Erklärer werden geneigt sein unrichtig zu sagen: eingezogen oder eingesaugt.

Schliesst man die beiden unteren Oeffnungen, so wird die Flamme oben wieder stark eingeblasen (Fig. 279). Es ergibt sich daraus, dass Verengungen eines Schornsteins an seiner Ausmündung, die so häufig absichtslos vorgenommen werden, indem eine cylindrische Röhre auf den gemauerten Schornstein von quadratischem Querschnitt aufgesetzt wird, um die Ausströmung des Rauches über der Dachfirst zu ermöglichen, sich bei gemeinsamen Schornsteinen nachtheilig auf den Zug in oberen Stockwerken erweisen, während das unterste davon nicht berührt wird,

Fig. 278. Fig. 279. Fig. 280. Fig. 281.



ebensowenig wie ein einfacher Schornstein. Die Ursache dieser Erscheinung bedarf nach früheren Mittheilungen keiner weitläufigen Erklärung mehr. Wird im untersten Stock eines dreistöckigen Hauses Feuer gemacht und deckt man den Schornstein oben zu, so zieht der Rauch in das oberste Stockwerk, oder, wenn hier die Rohrklappe geschlossen ist, in das mittlere Stockwerk hinein; dabei kann das Feuer unten trefflich brennen. Aehnlich verhält es sich mit der Verengung der Ausmündung und eine solche bewirkt starker Wind; übrigens wird dieser Einfluss durch die Form des Schornsteins an seiner Ausmündung bedingt.

Dritter Versuch. Man füllt den unteren kleinen Mantel mit Wasser, dessen Temperatur etwa 10° höher ist als die der umgebenden Luft, den oberen Mantel dagegen mit möglichst kaltem Wasser; Brunnenwasser von 9° reicht aus, wenn die Luft mindestens 15° hat. Die mittlere

Seitenröhre bleibt geschlossen, die oberste und unterste sind offen; in die letztere wird ein glimmendes Räucherkerzchen hineingestellt. Man nimmt sofort wahr, dass der Rauch desselben gänzlich aus dem obersten Schenkel heraustritt (Fig. 280).

Die oberste Seitenröhre wird jetzt geschlossen, die mittlere geöffnet, der Rauch tritt hier aus. Ist in gleicher Weise ein Schornstein in seinem oberen Theile kälter, in seinem unteren wärmer als die äussere Luft, so zieht der Rauch, wenn im unteren Stock Feuer angemacht wird, oben in die Stuben hinein. Es sucht nämlich die im kalten Schornsteintheile befindliche Luft niederzusinken, die im warmen Theile befindliche Luft aufzusteigen. Beide nehmen ihren gemeinschaftlichen Ausgang an einer vorhandenen Zwischenöffnung. Dieser Fall des Rauches wird nicht selten beobachtet, insbesondere wenn auf Frost milde Witterung folgt.

Vierter Versuch. Man füllt die beiden Mäntel mit kaltem Wasser von wenigstens 6^{0} unter der Lufttemperatur; die mittlere Seitenröhre bleibt vorerst geschlossen. Man stellt ein glimmendes Räucherkerzchen in den obersten Schenkel; sofort kommt der Rauch am untersten Schenkel heraus und behält dauernd diesen Weg allein (Fig. 281). Ebenso nimmt der Rauch diesen Ausgang, wenn die oberste Röhre geschlossen und in die mittlere das Kerzchen eingestellt wird. Ist also ein Schornstein im Ganzen kälter als die äussere Luft und man macht in einem oberen Stockwerk Feuer an, so raucht es unten, die in dem Schornstein niedersinkende kalte Luftströmung zieht den Rauch mit in die Bewegung hinein. Das Feuermachen im untersten Stock würde in diesem Falle nicht gelingen, bevor nicht der Rückzug durch starkes Feuer innerhalb des Schornsteins unterdrückt wäre.

§. 214.

Die mittels der Feuerungsanlagen zu erzielenden Temperaturen der beheizten Räume.

Im täglichen Leben begegnet man differirenden Ansprüchen an die Temperatur eines Raumes, selbst bei Personen, welche sich unter gleichen Umständen in demselben Zimmer aufhalten. Das ist individuell. Man kann desswegen ganz bestimmte Temperaturen als die behaglichsten nicht bezeichnen und folglich wohl auch nicht als die zuträglichsten, weil ein unbehaglicher Zustand schwerlich ein zuträglicher sein wird.

Es macht ferner einen Unterschied, ob ein Local gut ventilirt wird oder nicht und in welchem Masse die Luftbefeuchtung dabei gehandhabt wird. In einem gut gelüfteten und trockenen Locale findet

man eine höhere Temperatur angenehmer als in einem schlecht gelüfteten und feuchten.

Auch hat man die Dauer und Art der Benützungsweise der verschiedenen Localitäten zu berücksichtigen, dabei besonders den Umstand, ob ein Raum continuirlich oder doch täglich oder nur mit längeren Unterbrechungen geheizt wird. Sind wegen lange ausgesetzter Heizung die Mauern und andere Gegenstände des Zimmers kalt geworden, so kann ein Thermometer eine normale Lufttemperatur des Zimmers angeben, obgleich wir wegen der abnormen Ausstrahlung unserer Körperwärme gegen die kalten Gegenstände eine unangenehme Kälteempfindung haben.

Als hervorzubringende Zimmertemperatur wird in der Regel diejenige zu verstehen sein, welche durch ein Thermometer angegeben wird, das in Kopfhöhe in der Mitte des Zimmers oder an einer Scheidewand zwischen zwei geheizten Räumen, nicht wesentlich beeinflusst von der directen Wirkung des Luftstroms oder der Strahlung des Heizapparates, sich befindet. Ueber Kopfhöhe ist die Luft geheizter Räume gewöhnlich bedeutend wärmer, unter jener Höhe kälter, ebenso kälter an Aussenmauern oder Wänden gegen nicht geheizte Räume hin.

Als geeignete Temperaturen werden die folgenden anzusehen sein:

Für Wohnzimmer, Schulsäle und dgl.	17	bis	19°	C.
„ Kinderzimmer	18	„	20	„
„ Schlafzimmer	15	„	18	„
„ Krankenzimmer	16	„	20	„
„ Werkstätten, Fabriksäle, je nach der Benützungs- oder Beschäftigungsweise	10	„	17	„
„ Turnsäle	13	„	16	„
„ Theater, Concert- und Ballsäle .	19	„	20	„
„ Kirchen	10	„	13	„

Hierzu ist Einiges zu bemerken:

Für Wohnzimmer nimmt Péclet als gewöhnliche Temperatur nur 15° C. an. Diese Zimmertemperatur mag in Paris, wo nach Péclet die mittlere Wintertemperatur 5° C. über Null ist, insofern als genügend zu betrachten sein, als die Abkühlung der Mauern nicht sehr bedeutend und folglich auch die Abkühlung der Luft in den Zimmern nicht so gross ist, dass die unteren Schichten viel kälter werden, als die in mittlerer Zimmerhöhe. Je kälter aber die Aussenluft, desto grösser wird bei den meisten Heizmethoden die Differenz der Temperaturen in verschiedenen Höhen, und in der Nähe des Bodens ist dann die Temperatur oft ge-

ringer als 15°, wenngleich sie in Kopfhöhe 20° beträgt. Desshalb müssen wir in einem kälteren Klima mehr als 15° C. als wünschenswerthe mittlere Zimmertemperatur annehmen.

Kinderzimmer dürfen oder sollen eine etwas höhere Temperatur haben, als Wohnzimmer für Erwachsene, und zwar um so mehr, je kleiner die Kinder sind, besonders wenn sie auf dem Fussboden sitzend spielen; denn die Temperatur in dieser unteren Schicht ist in der Regel bedeutend geringer als in Kopfhöhe eines Erwachsenen.

Dass Schlafzimmer nicht geheizt sein sollten, weil kalt schlafen gesund sei, ist eine bekannte Redensart, die aber schwerlich durch statistische Vergleiche der Gesundheit und Sterblichkeit kalt und nicht kalt schlafender Personen als begründet nachgewiesen werden kann. Behaglich ist es jedenfalls, im kalten Winter ebenso leicht bedeckt im Bette zu liegen wie im Sommer, und vermuthlich ist dieses auch der Gesundheit zuträglich.

Die zuträglichen Temperaturen in Krankenzimmern sind hauptsächlich von der Art der Krankheit abhängig; die Entscheidung darüber in speciellen Fällen ist Sache des Arztes.

Bei Werkstätten und Fabriksälen ist theils massgebend, ob die Arbeiter in geringer oder starker Bewegung sind, theils auch, welche Stoffe verarbeitet werden. Bei manchen Fabrikationszweigen müssen die Temperaturen höher, bei manchen anderen geringer sein als die angegebenen, was nach speciellen technologischen Massgaben berücksichtigt werden möge.

Bei Theatern, Concert- und Ballsälen darf die Temperatur wegen der leichten Damentoiletten nicht zu niedrig sein.

Dagegen kann bei Kirchen vorausgesetzt werden, dass die Kirchenbesucher, wenn es sehr kalt ist, meistens so warm gekleidet zur Kirche kommen, dass ihnen eine Temperatur von 10° C. genügt, dagegen eine höhere als 13° C. lästig werden könnte. Wie Péclet*) mittheilt, hat sich bei einem Entwurfe von Duvoir-Leblanc für die Heizung der Kirche St. Sulpice in Paris der Constructeur verbindlich gemacht, eine Temperatur von 10° C. in der Kirche und von 15° in der Sakristei zu erzielen.

Ferner bemerkt Péclet, dass die Temperatur in einer Kirche um so niedriger sein dürfe, je kälter es im Freien sei, weil man bei sehr kalter Aussenluft die Wärme mehr empfinde.

Bei Berechnung der für Hervorbringung und Erhaltung einer be-

*) Péclet, Traité de la chaleur, 1878 III. S. 382.

stimmten Temperatur in einem Raume nothwendigen Grösse des Heizapparates sind die übrigen Wärmequellen, die Beleuchtungsflammen und die Körperwärme in geeigneter Weise zu berücksichtigen (§. 183, 184), andererseits auch die Wärmeverluste (§. 185 ff., besonders §. 194).

Für die Berechnung der Wärmeverluste eine sehr tiefe Aussentemperatur, etwa — 20° C. anzunehmen, ist jedenfalls rathsam, um auch für aussergewöhnlich kalte Winter sicher zu gehn.

Verleitet durch eine Reihe von milden Wintern war ich früher anderer Ansicht, habe auch in meinem Anhang zu „Staebe's Preisschrift über die zweckmässigsten Ventilationssysteme" (1878) auf Seite 105 ausgesprochen, es sei keineswegs nöthig, bei Berechnung der Wärmeverluste die denkbar niederste Aussentemperatur anzunehmen, die in einer Reihe von Jahren gar nicht, in einem Winter einmal an wenigen Tagen vorhanden sei; man dürfe vielmehr in dieser Beziehung die mittlere Wintertemperatur des Ortes einführen. Wenn starke Kälte, wie es nach meiner Erinnerung der Fall war, nicht sehr lange anhielt, dienten die Mauern noch als Wärmereservoire, und bei der alsbald folgenden milden Witterung durften die Mauern auch etwas kälter sein, ohne den Heizeffect besonders zu schwächen.

Die anhaltend starke Kälte des gegenwärtigen Winters, in welchem vom 26. November bis zum 28. December 1879 das Thermometer beständig weit unter dem Gefrierpunkt stand, an den meisten Orten Deutschlands öfters auf — 20 bis — 24° C. sank, legt die Nothwendigkeit nahe, die Berechnungen mit grösserer Sicherheit, mit Einführung sehr tiefer Aussentemperaturen anzustellen.

Zwar wird dieser Winter in Zeitungsberichten als der strengste dieses Jahrhunderts bezeichnet, allein es können nächstens noch strengere kommen, und auch in solchen sollen die Heizungseinrichtungen genügen; auch in einem solchen sollte es nicht vorkommen, dass z. B. in Schulen der Unterricht ausgesetzt oder auf kürzere Zeit beschränkt werden muss, weil die Schüler, obgleich sie mit Mänteln in den Bänken sitzen, vor Kälte zittern und in Folge dessen zum Theil erkranken, wie es im December 1879 und Januar 1880 nachweislich mehrfach vorgekommen ist.

Wenn ein Privatmann den Kostenaufwand für Herstellung einer auch unter den ungünstigsten Umständen befriedigenden Heizanlage scheut und bei abnormen Witterungsverhältnissen lieber frieren will, so ist das seine Sache; aber in öffentlichen Gebäuden, namentlich in Schulen, muss volle Zweckmässigkeit, also die Erreichung des Heizzweckes unter allen Umständen als Hauptbedingung auf-

gestellt werden; die Wohlfeilheit darf erst in zweiter Linie zur Berücksichtigung gelangen.

§. 215.

Zusammenstellung der verschiedenen Heizungsanlagen. Allgemeine Anforderungen an dieselben.

Die hier zu besprechenden Beheizungsanlagen für Wohnungen und ähnliche Räume lassen sich nach ihren wesentlichen Verschiedenheiten wie folgt eintheilen:

Kaminheizung,
Ofenheizung,
Kanalheizung,
Luftheizung,
Dampfheizung,
Wasserheizung,
Gasheizung.

Man unterscheidet ferner einfache und combinirte Heizungen, Local- und Centralheizung, Circulations- und Ventilationsheizung, Bezeichnungen, deren Bedeutungen an sich klar sind oder aus der speciellen Besprechung klar werden.

Bei einer jeden Heizanlage soll man dahin trachten, in möglichster Vollkommenheit die folgenden Anforderungen zu erfüllen.

1. Erste Bedingung ist genügende Erwärmungsfähigkeit, also so reichliche und gute Heizfläche, dass auch unter ungünstigen Verhältnissen die dem Zweck der Localität entsprechende Temperatur erreicht werden kann, ohne dass die Feuerung zum Nachtheil des Apparates oder der Luftbeschaffenheit allzu sehr forcirt werden muss.

2. Die Erwärmung sei eine milde und gleichmässige in Bezug auf Zeit und Ort; denn es ist unbehaglich und der Gesundheit nachtheilig, wenn eine hohe Temperatur mit einer niederen in einem Raume, wo man sich ruhig oder irgendwie thätig aufhält, rasch wechselt und noch mehr, wenn der Kopf sich in viel höherer Temperatur befindet als die unteren Körpertheile, oder die eine Seite des Körpers merklich mehr erwärmt wird als die andere, mag dieses durch verschieden starke Wärmestrahlung oder durch Luftströmungen von ungleicher Temperatur veranlasst werden. Ausnahmsweise kann es erwünscht sein, an verschiedenen Stellen eines Locals ungleiche Temperaturen zu haben.

3. Die Zimmerluft soll durch die Heizung nicht in ihrer chemischen Zusammensetzung verändert, nicht verdorben, nicht mit Rauch,

Asche, Staub verunreinigt, nicht mit einem unangenehmen Geruch behaftet werden.

4. Die Heizung soll die Auswechselung der durch Respiration, Perspiration und durch andere aus der speciellen Raumbenützung entspringende Ursachen verschlechterte Luft gegen reine Luft in genügender Menge ohne Zug und Temperaturerniedrigung zulassen.

5. Die Heizeinrichtung soll die Wohnung nicht verunstalten, vielmehr sollen die in den Zimmern sichtbaren Theile, so weit es die Mittel gestatten, einen zur häuslichen Behaglichkeit beitragenden Anblick gewähren und sich mit der Decoration der Zimmer gut in Einklang bringen lassen.

6. Durch den Heizkörper selbst und auch durch die von demselben veranlasste Luftströmung und Wärmestrahlung soll der nutzbare Raum einer Wohnung möglichst wenig beschränkt, der üblichen Benützung nicht zu viel Raum entzogen werden.

7. Die Heizung darf weder durch die Anlage, noch durch die davon abhängige Art und Weise der Wärmeverbreitung feuergefährlich werden.

8. Nicht nur die Temperatur in den beheizten Räumen, sondern auch die Wärmeentwicklung in der Feuerung soll sich nach äusseren Umständen und nach den Zwecken der Localitäten leicht reguliren lassen.

9. Die durch den Verbrennungsprocess in der Feuerung entwickelte Wärmemenge soll der überhaupt erreichbaren möglichst nahe kommen, und sie soll durch Reducirung der unvermeidlichen Wärmeverluste auf ein verhältnissmässig geringes Mass möglichst ausgenützt werden.

10. Grosse Dauerhaftigkeit ist ein Haupterforderniss; denn abgesehen von Kosten und Unbequemlichkeiten, welche durch Ausbesserungen und Auswechselungen einzelner Theile verursacht werden, sind Störungen des Heizbetriebs höchst lästig. Lassen sich auch nicht auf Decennien alle Reparaturen vermeiden, so sollen sie doch, wie z. B. die Erneuerung eines Feuerrostes, leicht und schnell vorgenommen, grössere Reparaturen aber im Sommer so dauerhaft und zuverlässig ausgeführt werden können, dass weitere Reparaturen, welche den Heizbetrieb stören, während der Heizperiode nicht nothwendig werden.

11. Die Kosten der Anlage, der Unterhaltung und des Betriebs, sollen in einem günstigen Verhältniss zu der Leistung der Anlage stehen.

12. Als letzte, aber nicht geringste, im Gegentheil sehr wesentliche Anforderung nenne ich die Einfachheit des Heizapparats in Bezug auf Construction und Behandlung. Die rationellsten Ofenconstructionen bewähren sich mitunter in der Praxis desshalb nicht, weil wegen

aussergewöhnlicher Complicirtheit schon die richtige Ausführung schwer zu controliren ist und die Behandlung mehr Aufmerksamkeit und guten Willen erfordert, als gewöhnlich bei dem Dienstpersonal gefunden wird und im Allgemeinen vorausgesetzt werden darf.

Die Kaminheizung.

§. 216.

Alte Einrichtungen der Kamine.

Die gewöhnlichen alten Heizkamine, heutzutage oft, wiewohl nicht richtig, auch wälsche und italienische Kamine genannt, bestanden einfach aus einer grossen Oeffnung am Fusse eines weiten Schornsteins, woselbst in Fussbodenhöhe des Zimmers oder etwas höher eine Steinplatte angebracht war, auf welcher kleine und grosse Holzstücke verbrannt wurden.

Die ersten Verbesserungen waren eine vom Zimmer aus stellbare Klappe im Schornstein, wodurch dieser nach Belieben theilweise oder ganz geschlossen werden konnte, dann ein flach muldenartig aus Eisenstäben gebildeter Behälter für das brennende Holz, der Feuerkorb, eine Art Korbrost.

Daraus, dass eine solche Heizeinrichtung einen Theil des Schornsteins bildete, erklärt es sich, dass man zuerst das Ganze und später den Schornstein sowohl wie die specielle Heizeinrichtung mit dem gleichen Namen belegte. Man machte Feuer im Kamine, legte Holz in den Kamin, das galt für den Feuerherd und zugleich für den Schornstein, weil sich in diesem der Feuerherd befand.

Demnächst brachte man anstatt der sehr weiten Schornsteine engere, immerhin steigbare Schornsteine in Anwendung, legte auch den Feuerherd weiter in das Zimmer vor. Solche Kamine aus alten Zeiten findet man noch jetzt in Italien, Frankreich, Holland, Russland, England, Deutschland. In Deutschland und England sollen sie zuerst in Anwendung gewesen sein.

Die Kaminöffnung ist gewöhnlich ungefähr 1 Meter hoch, zuweilen viel höher. Der Herd hat eine Tiefe von ½ Meter und darüber, eine Länge von 1 bis 2 Meter, ist an einer Brandmauer des Zimmers angebracht und seitlich wie oben von einer Einfassung, dem Kamin-

mantel, umgeben, welcher aus Stein- oder Metallplatten in eckiger und trichterförmig abgeschrägter oder halbkreisförmiger oder parabolischer Gestalt nischenartig gebildet ist.

Bei weiter vorgelegtem Herde findet sich über diesem ein pyramidaler Rauchfang, Rauchmantel, auch wie die untere Einfassung Kaminmantel genannt, ähnlich den allbekannten Rauchmänteln oder Herdkutten in Küchen, aber steiler, reicher und auf Pfeilern, Säulen oder Consolen ruhend.

Die vordere Einfassung des Kamins besteht aus Gewänden und dem Sturz, häufig aus Marmor ausgeführt und den am meisten decorirten Theil eines Zimmers bildend. Die Gewände sind mit Pilastern, Säulen, Reliefs decorirt, während den Sturz reiche Gesimsgliederungen, Büsten und Vasen schmücken. Oft ist auch ein Spiegel über dem Kamine angebracht. Der Pracht, mit welcher sie ausgeführt sind, verdanken viele dieser alten Kamine ihre Erhaltung, während für die Erwärmung durch Oefen oder andere Heizeinrichtungen gesorgt ist; denn diese Kaminheizung ist mehr ein Gegenstand des Luxus als der zweckmässigen Zimmerheizung, sie liefert bei grossem Brennstoffverbrauch nur wenig Wärme. Dieses erklärt sich daraus, dass nur strahlende Wärme vom Feuerherde aus und diese nur zum Theil nutzbar gemacht wird, die ganze ausgestrahlte Wärme aber bei Holz nur ungefähr den vierten Theil der ganzen bei der Verbrennung entwickelbaren Wärme ausmacht.

Als grosser Vorzug vor anderen Heizungen wird gerühmt, dass die Kaminheizung die ausgiebigste Lufterneuerung herbeiführe. Allein die Luft, welche zum Ersatz der in den Kamin entweichenden aus dem Freien ins Zimmer gelangt, ist kalt und fliesst, den Fussboden abkühlend wenig benützt in den Kamin. Daneben aber kann aus anstossenden Räumen schlechtere Luft zufliessen, welche die oberen Schichten des Zimmers füllt, weil sie wärmer ist als die aus dem Freien kommende. Die Ventilation ist also hiebei keineswegs immer gut und zweckmässig, und die Erwärmung ist, weil nur durch einseitige Strahlung bewirkt, ungleichmässig, unangenehm und unzuträglich.

§. 217.

Neuere Einrichtungen der Kamine.

Die decorativen Vorzüge der Kamine und die Annehmlichkeit, das Feuer brennen zu sehen, mussten das Streben fördern, die Kamine zu vervollkommnen. Die technischen Mittel zu solcher Vervollkommnung

waren nahe gelegt durch vorhandene Heizeinrichtungen anderer Art, welche mit den Kaminen verbunden werden konnten.

Um die Wärme des Feuers mehr auszunützen, hat man nach dem Princip des Luftröhrenofens im Schornstein bis in die Nähe der Zimmerdecke Blechröhren emporgeführt, welche am Zimmerfussboden die kalte Luft aufnehmen und sie erwärmt oben dem Zimmer zurückliefern.

Solche Röhren sind unten auch mit der Aussenluft in Verbindung gesetzt worden, so dass unter der Zimmerdecke reine erwärmte Luft eingeführt wird. Eine ähnliche Construction ist die, dass eine eiserne, in der Mitte des weiteren Schornsteins emporgeführte Röhre über dem Herde die Verbrennungsproducte aufnimmt und die reine Luft an der Aussenfläche der Röhre, in dem zwischen dieser und der Schornsteinwandung vorhandenen Raume, erwärmt wird, welcher unten und oben an den Röhrenenden abgesperrt ist und unten mit der freien Atmosphäre, oben mit dem Zimmer communicirt.

Andere Kamine haben ausser der wenig wirksamen sichtbaren Feuerung noch eine wirksamere, im Zimmer selbst unsichtbare, nämlich einen guten kleinen Ofen, welcher im Kamine versteckt ist. Auch sind mitunter zwei kleine Oefen so versteckt angebracht, was sich wegen der Symmetrie gut bewerkstelligen lässt.

Anstatt der steigbaren Schornsteine sind bei den neueren Kaminen enge Schornsteine in Anwendung gekommen.

Ferner sind Kamine ausgeführt, welche im Wesentlichen Oefen in Kamingestalt sind und gewöhnlich auch Kaminöfen oder Ofenkamine genannt werden. Die reich verzierten Kaminflächen sind zum Theil Heizflächen wie bei anderen Oefen, meistens jedoch bilden sie den Mantel des Heizofens wie bei einem Circulations- oder Ventilations-Mantelofen. Sie sind zum Theil mit zwei Feuerhälsen versehen — so die Kaminöfen des Eisenwerks Kaiserslautern — einem äusseren, welcher zum nothwendigen Heizen dient und einem inneren, mit Glimmerplatten geschlossenen, durch welche man das Feuer brennen sieht. Solche Kamine können in der heizenden und ventilirenden Wirkung den besten Stubenöfen gleichkommen, aber die Anschaffungskosten sind wegen reicherer Ausführung gewöhnlich viel höher.

Man kann auch Kamine zur Decoration von Kanalmündungen oder zweckmässig als Luftöfen, welche eine milde Wärmestrahlung bewirken, in Verbindung mit Luftheizungseinrichtungen anwenden. Hiervon wird bei den combinirten Heizungen die Rede sein.

Die Stubenofenheizung.

§. 218.

Allgemeines über die Heizung mit Stubenöfen.

Die Stubenöfen sind im Allgemeinen für die gesonderte Erwärmung kleiner und auch mittelgrosser Räume vorzüglich geeignete Apparate; sie sind mit verhältnissmässig geringen Kosten zu beschaffen und lassen den Zweck unabhängig von der Heizung anderer Räume am einfachsten und sichersten, in den meisten Fällen auch auf ökonomische Weise erreichen.

Beschreibungen und Darstellungen von Stubenöfen sind in neueren Büchern und Zeitschriften in solcher Menge enthalten, dass ich darauf verzichten darf, hier solche ebenfalls zu geben. Ich beschränke mich darauf, mehr principiell einige wesentlich wichtigen Constructionen zu besprechen, über deren Leistungen ich nach eigenen länger fortgesetzten praktischen Versuchen berichten kann, werde dabei auch die gefundenen Mängel angeben, um zur Vervollkommnung dieser wichtigen Apparate beizutragen.

Dass ungeachtet des Vorhandenseins unzähliger Ofenconstructionen das Bedürfniss von Verbesserungen auf diesem Gebiete besteht, dürfte auch schon daraus zu schliessen sein, dass seit zwei Jahren in Deutschland einige hundert Patente auf Stubenöfen ertheilt worden sind. Indessen weisen fast alle Neuerungen nur die Anwendung bekannter Mittel in anderer Gestaltung auf, und das wirklich Neue ist oft etwas sehr Unrationelles.

Am meisten wird bei den Stubenöfen gerügt, dass sie den Nachtheil einer ungleichen Vertheilung der Wärme haben, indem sie, namentlich die eisernen, in ihrer Nähe grosse Hitze verbreiten, aber die entfernteren Theile der Zimmer kalt lassen, und dass die von ihnen ausgestrahlte Wärme überhaupt unangenehm afficirt. Dieses ist nur theilweise und unter gewissen Umständen begründet, bei gewisser Benützungsweise des geheizten Locals. Die Ungleichheit der Erwärmung in verschiedenen Entfernungen vom Ofen ist insofern zuweilen erwünscht, als sich die einzelnen Bewohner je nach ihrer individuellen Disposition einen wärmeren oder kühleren Platz wählen können. Auch ist eine milde Strahlung den meisten Personen nicht unangenehm.

Um die allzu starke Strahlung zu beseitigen, ist ein sehr einfaches und bekanntes Mittel ein reichlich grosser Ofenschirm, welcher, wenn er den ganzen Ofen umschliesst, zum Ofenmantel wird. Viel gleich-

mässiger wird hiebei die Erwärmung in verschiedenen Entfernungen vom Ofen allerdings, aber die Erwärmung eines länger nicht geheizten Raumes geht nicht so rasch von statten, als wenn der Ofen frei gegen das Zimmer strahlen kann.

Die Oefen mit festen Mänteln zu umgeben, ist zweckmässig, wenn Räume zu heizen sind, die ohne grosse Unterbrechung immer warm sein sollen. Bei häufig ausgesetzter Heizung dagegen ist es zweckmässiger, die strahlende Wärme zur Vorheizung zu benützen, sie auf die kalten Wände und übrigen Gegenstände wirken zu lassen, wobei schneller eine behagliche Temperatur erreicht wird, als nur durch Wärmeabgabe von Seite der die kalten Gegenstände berührenden wärmeren Luft bei der Anwendung von Ofenmänteln. Man stellt sich gewöhnlich vor, und nicht ohne einige Berechtigung, dass die durch einen Mantelofen bewirkte lebhaftere Luftcirculation die Wärme schneller im ganzen Zimmer verbreitet; allein ich habe mich mehrfach überzeugt, dass die genügende Erwärmung rascher nach Beseitigung der Mäntel erreicht wurde, obgleich diese gut und in anderer Hinsicht zweckmässig construirt waren. Dieses erklärt sich daraus, dass ein behagliches Wärmegefühl nicht geradezu von der Temperatur der uns umgebenden Luft abhängig ist, sondern hauptsächlich von der Grösse der Wärmeausstrahlung unseres Körpers gegen die kalten Gegenstände, beziehungsweise auch von der Aufnahme milder Wärmestrahlen.

Die rasche Erzielung einer genügenden Durchwärmung ist besonders für Schulen wichtig; denn es ist bekannt, dass in solchen gewöhnlich nicht frühzeitig genug das Feuer angezündet wird. Dagegen ist es eben auch in Schulen, wo sowohl nahe am Ofen als auch nahe an den Aussenwänden Schülerplätze sind, nicht minder wichtig, dass während des Unterrichts die Strahlung des heissen Ofens gegen die Schüler beseitigt und eine grössere Gleichförmigkeit der Temperatur erreicht werde.

Es wird sich demnach empfehlen, die wie gewöhnlich an einer Wand stehenden Mantelöfen so einzurichten, dass beim Anheizen die vorderen zwei Dritttheile oder drei Viertheile des Mantels beseitigt, etwa nach hinten geschoben oder umgeklappt werden, so dass die Strahlung gegen den Zimmerraum in volle Wirksamkeit kommt, die Strahlung gegen die hintere Zimmerwand aber aufgehoben, vielmehr in eine Reflexstrahlung gegen das Zimmer verwandelt wird. Steht der Ofen in der Mitte des Saales, wie es mitunter vorkommt, so wäre der ganze Mantel zeitweise zu beseitigen, entweder niederzulegen oder in die Höhe zu ziehen, was mittels einiger Säulen, welche die Führung bilden, nebst Rollen, Ketten und Gegengewichten leicht geschehen kann.

Bei Ventilations-Mantelöfen muss hiebei der Zufluss kalter Luft so lange abgestellt sein, bis der Ofen wieder von dem Mantel umgeben ist, weil sonst die Ventilationsluft kalt, wie sie einströmt, die unteren Schichten des Zimmers einnehmen und die Erwärmung des Bodens und der unteren Zimmerhälfte um so mehr erschweren würde.

Als Ventilationsöfen dienen in gewissem Grade schon die einfachen im Zimmer geheizten Oefen, welche man in einigen Gegenden Windöfen zu nennen pflegt. In der Regel wird deren Ventilationswirkung überschätzt. Man sagt, sie gewähren vorzüglichen Luftwechsel; allein selbst unter Annahme guter Luftmischung und vollkommner Diffusion ist das Ventilationsquantum höchstens für den beständigen Aufenthalt weniger Personen in einem mittelgrossen Zimmer genügend, weil das Feuer nur wenig Luft nothwendig hat, und man die Zugschieber u. dgl. an den Oefen nicht weiter öffnet, als zur entsprechenden Erhaltung des Feuers dienlich ist, sie auch schliesst, wenn es im Zimmer warm genug ist.

Zudem ist diese Ventilationsweise, sobald die Ventilationsgrösse bedeutend wird, keine angenehme. Es gilt in dieser Beziehung wesentlich, wenn auch nicht in so hohem Grade, dasselbe wie von den primitiven Kaminen. Die durch den Ofen abgeführte Luft ist keineswegs die schlechteste, sie ist vielmehr sehr rein, und das um so mehr, je tiefer der Luftzufluss zum Ofen stattfindet. Dass aber der Feuerraum und damit dessen Zugöffnung nahe am Fussboden liegt, ist wegen der Erwärmung des kälteren Bodens auch zweckmässig. Die durch die Fensterfugen u. s. w., oft mit Zugbelästigung einfliessende reine kalte Luft fliesst grösstentheils direct am Fussboden, diesen fortwährend abkühlend, hin zum Ofen und entweicht durch diesen, ohne die Zimmerluft viel verbessert zu haben.

Bei den ausserhalb des Zimmers geheizten einfachen Oefen, Halsöfen, ist die Zimmertemperatur gleichmässiger, namentlich der Boden wärmer, und es ist kein lästiger Zug an den Fenstern vorhanden, ausser bei starker Windpressung gegen diese. Aber der Luftwechsel ist, sofern er auf den zufälligen beschränkt bleibt und nicht besonders herbeigeführt wird, allzu gering.

Wo eigentliche Ventilationsöfen mit richtig berechnetem Luftquerschnitte in Anwendung kommen, ist es in Bezug auf den Luftwechsel ohne Bedeutung, ob der Ofen ein Windofen oder Halsofen ist. Aber in Bezug auf Reinlichkeit ist die Aussenheizung vorzuziehen, in Bezug auf Bequemlichkeit in vielen Fällen die Innenheizung.

Angenehm und ökonomisch erweisen sich gut construirte Füllöfen, besonders solche, bei welchen mit Koks gefeuert wird. Füllöfen

mit Mänteln eignen sich im Allgemeinen für die Heizung in Verbindung mit Ventilation in Wohnzimmern am besten.

Thonöfen sind bei Weitem weniger ökonomisch vortheilhaft als eiserne Oefen und heizen zu wenig rasch. Man rühmt ihre gleichmässige und dauernde Erwärmungsfähigkeit; allein diese bieten auch die eisernen ummantelten Füllöfen neben ihrer rascheren Heizwirkung.

Die besten Füllöfen für Steinkohlen sind diejenigen, bei welchen die Verbrennung von oben nach unten fortschreitet. Aber es müssen Kohlenstücke in geeigneter Grösse verwendet werden, und wenn eine Füllung niedergebrannt ist, kann man, ohne das Feuer ausgehen zu lassen und es frisch anzumachen, nicht in dieser Weise mit Steinkohlen ökonomisch fortheizen. Zweckmässig ist es alsdann, Koks aufzufüllen. Der einfacheren, gleichmässigeren Behandlung wegen dürfte die ausschliessliche Verwendung von Koks vorzuziehen sein.

Bei der Wahl irgend eines Ofens ist es von grösster Wichtigkeit, die Heizfläche reichlich gross zu nehmen, damit der Ofen nicht allzu sehr überhitzt zu werden braucht, wenn auch aussergewöhnlich starke und anhaltende Kälte eintritt. Durch allzu sehr forcirte Heizung wird in Folge der Verbrennung organischen Staubes die Luft verschlechtert und der Ofen leicht zu Grunde gerichtet.

Nach den Erfahrungen von Péclet, die auch von Redtenbacher einigen Berechnungen zu Grunde gelegt worden sind, wären die Wärmemengen, welche 1 qm Heizfläche stündlich abgibt, für Oefen aus gebranntem Thon 1600 Calorien, für Oefen aus Gusseisen 4000 und für Oefen von Eisenblech 1500 Calorien. Nennt man W die Wärmemenge, welche stündlich zur Erwärmung eines Raumes erforderlich ist, F die Heizfläche des Ofens in Quadratmeter, so wäre demnach

für Oefen aus gebranntem Thon $F = \frac{W}{1600}$ qm,

für Oefen aus Gusseisen . . $F = \frac{W}{4000}$ „

für Oefen von Eisenblech . . $F = \frac{W}{1500}$ „

Die Grashof'sche Ausgabe der „Resulate von Redtenbacher (1875) enthält noch den Zusatz:

Wenn ein Ofen aus gebrannter Erde oder Gusseisen mit einer Rauchröhre von Eisenblech versehen und die Oberfläche derselben $= F_1$ ist, so genügt es, für den Ofen selbst zu setzen:

$$F = \frac{W - 1500\,F_1}{1600} \text{ resp. } F = \frac{W - 1500\,F_1}{4000}$$

Solche Formeln sind natürlich mit Vorsicht anzuwenden. Die nothwendige Grösse der Heizfläche muss sich nicht nur nach dem Material des Ofens richten, sondern auch nach der Construction des Ofens, nach dem Brennmaterial, nach der Art und Lage der Heizflächen, nach der relativen Ausdehnung der Ofenflächen und Rauchröhrenflächen u. s. w.

Ohne Zweifel erfordern gusseiserne Oefen die kleinste Heizfläche, Oefen von Eisenblech eine grössere, Thonöfen die grösste, wie auch in Redtenbacher's Maschinenbau unmittelbar vor den obigen Formeln angegeben ist. Aber nach diesen Formeln würde ein Ofen von Eisenblech eine grössere Heizfläche haben müssen als ein Thonofen.

Die Anwendung des für Oefen von Eisenblech angegebenen Werthes auf Rauchröhren von Eisenblech nach Grashof ist eher als richtig anzunehmen, weil die Rauchröhren bei mässiger Feuerung im Beharrungszustande nicht so stark erhitzt werden wie die den Feuerraum einschliessenden und diesem nahe liegenden Ofentheile; allein die Intensität dieser Erhitzung ist in weiten Grenzen verschieden. Während bei manchen Oefen die Verbrennungsgase fast unmittelbar von dem glühenden Brennmaterial in die Rauchröhren gelangen, haben die Verbrennungsgase bei anderen Oefen einen so weiten Weg zurückzulegen, dass sie ziemlich abgekühlt in die Rauchröhren gelangen, welche überdies bei hohen Oefen sich mehr in den oberen warmen Schichten des Zimmers befinden, wo sie weniger Wärme abgeben.

Uebrigens bildet in vielen Fällen die Rauchröhre einen wichtigen Theil der Gesammtheizfläche, und sie bietet, wenn sie lang ist und namentlich wenn sie auch theilweise in der unteren Zimmerhälfte sich befindet, den grossen Vortheil, dass durch sie die Anheizung in hohem Grade beschleunigt wird, weil sie sehr schnell nach dem Anzünden des Feuers schon heiss ist, während noch die Ofenflächen kaum warm sind.

Es erklärt sich daraus, dass in manchem grossen Local ein verhältnissmässig kleiner Ofen rasch warm macht; es folgt daraus auch, dass man häufig, wo die Heizfläche des Ofens nicht genügt — vorausgesetzt, dass reichlicher Zug vorhanden ist — durch Auf- und Abführen, Hin- und Herführen der Rauchröhre, oder durch Herumführen derselben in Schlangenwindungen den Heizeffect bedeutend vergrössern kann.

Es mag noch beigefügt werden, dass durch die Rauchröhre bei gewöhnlicher Einrichtung derselben, wenn der Ofen nach dem Abbrennen des Feuers an der Heizthür auch hermetisch geschlossen und überhaupt vollkommen dicht ist, was übrigens nur höchst selten vorkommt, immer noch ein grosser Wärmeverlust stattfinden kann, indem alsdann vom Schornstein her wie in diesem selbst eine Doppelströmung durch

die Rauchröhre in den Ofen herab stattfindet. Diese Doppelströmung kann aber nicht vor sich gehen, wenn die Rauchröhre, bevor sie in den Schornstein mündet, abwärts gebogen ist, wenn auch nur so weit abwärts, dass die Einmündung in den Schornstein um die Dimension des Röhrendurchmessers tiefer liegt als der obere Theil der Krümmung, dass also ein pneumatischer Abschluss gebildet ist (§. 148).

Die Berechnung der nöthigen Heizfläche betreffend ist es auch von grossem Einfluss, ob ein Raum continuirlich oder nur den Tag über, oder täglich nur wenige Stunden oder endlich nur zuweilen mit längeren Unterbrechungen geheizt wird. Genaue Berechnungen dieser Einflüsse würden höchst verwickelt sein. Nach Redtenbacher genügt es für die praktischen Zwecke, wenn man zuerst die Wärmeverluste berechnet, welche bei einer continuirlichen Heizung, der ein Beharrungszustand entspricht, eintreten, und dann diese Wärmemenge mit einem angemessenen Coëfficienten f multiplicirt, der nach Schätzung zu wählen ist, und zwar:

1) für continuirliche Heizung bei Tag und Nacht $f = 1$
2) für continuirliche Heizung bei Tag und Nichtheizung bei Nacht . . . . $f = 1,2$
3) wenn nur in einzelnen Stunden geheizt werden soll, nach Umständen . . . . $f = 1,5$ bis $2,0$.

Für sehr seltene Heizung, wobei in den Zwischenzeiten die Mauern vollständig erkalten können, wie bei Kirchen, ist f jedenfalls noch grösser zu setzen.

§. 219.

Ueber selbstthätige Temperatur-Regulatoren, Ofenklappen und einen ventilirenden Regulator der Ofenhitze.

Die Bestrebungen, ein Zimmer in constanter Temperatur zu erhalten, haben verschiedene Vorrichtungen zu Tage gefördert, welche als selbstthätige Temperaturregulatoren, Zug- oder Ofenregulatoren angepriesen worden sind. Ihre Construction beruht auf der durch Temperaturerhöhung erfolgenden Ausdehnung eines Metallstabs oder auch der ungleichen Ausdehnung zweier fest mit einander verbundenen Metallstreifen. Die erfolgende Längenänderung oder Formänderung bewirkt mit Hülfe von Hebelübersetzungen das Oeffnen oder Schliessen einer Klappe oder Rosette an der Rauchröhre oder der Feuerthür. Da diese Wirkungen mehr von der Temperatur des Ofens, an welchem der Regulator befestigt ist, als von der mittleren Zimmertemperatur abhängt,

Differenzen dieser Temperaturen aber nach der jeweiligen und vorausgegangenen Aussentemperatur und nach mancherlei veränderlichen Umständen in sehr verschiedenen Verhältnissen auftreten können, so ist einleuchtend, dass solche Regulatoren ihrem Zwecke nicht entsprechen können, selbst wenn sie mit Stellvorrichtungen für verschiedene Umstände und Bedürfnisse versehen sind. Eine entsprechende Wirkung ist von einem selbstthätigen Temperaturregulator nur dann zu erwarten, wenn der mit der Temperatur unmittelbar veränderliche Theil ausser dem Bereiche der directen Ofenhitze angebracht ist, in mittlerer Zimmertemperatur sich befindet und mittels einer Transmission das Oeffnen und Schliessen der beweglichen Theile an der Rauchröhre oder an der Ofenthür veranlasst. Doch kann man, namentlich bei guten Mantel Füllöfen, mit sehr geringem Aufwand von Zeit und Mühe auch ohne einen solchen Regulator eine sehr gleichmässige Temperatur erhalten.

Ein sehr einfaches Mittel, die Verbrennung zu verzögern und die Hitze zu mindern, wenn der Luftzug nicht genügend abgesperrt werden kann, ist bekanntlich bei den einfachen Säulenöfen, in welchen gewöhnlich Steinkohlen gebrannt werden und bei welchen die Thür für das Einbringen der Kohlen ziemlich hoch über dem Rost sich befindet, das Oeffnen dieser Ofenthür, ebenso bei anderen Oefen das Oeffnen des Füllschachtes, vorausgesetzt, dass dieser selbst kein Brennmaterial enthält. Da alsdann eine sehr grosse Luftmenge über dem glühenden Brennstoff hinweg nach der Rauchröhre gelangt und deren Querschnitt nahezu oder auch vollständig einnimmt, so wird die Zuströmung der Luft durch den Rost ausserordentlich schwach oder hört gänzlich auf.

In gleicher Weise wirkt eine von Meidinger angegebene sehr einfache Vorrichtung, welche an dem unteren Theil einer Rauchröhre angebracht ist und gewöhnlich kurzweg Ventilationsröhre genannt wird. Ueber diesen ventilirenden Regulator der Ofenhitze sowie über die Ofenklappen und einige damit zusammenhängende Gegenstände sagt Meidinger*):

„Die Gefahren, welche die zur Mässigung der Verbrennung und Unterdrückung der inneren Abkühlung bei unseren Stubenöfen angebrachten Rauchrohrklappen für Leben und Gesundheit mit sich führen können, sind in gebildeten Kreisen kaum mehr unbekannt; gleichwohl sind die Klappen fast noch in allgemeinem Gebrauch; und man muss hervorheben, dass dieselben nur zu oft in einen frühzeitigen, gefahr-

*) Broschüre des Eisenwerks Kaiserslautern, theoretischer Theil, 1876.

drohenden völligen Abschluss gebracht werden. Wenn die dadurch hervorgerufenen Unglücksfälle nicht häufiger sind, — wie oft ein vorübergehendes körperliches Unbehagen dadurch entsteht, entzieht sich jeder Schätzung, — so ist der Grund wohl nur allein dem glücklicherweise unvollkommenen Machwerke zuzuschreiben, welches eben nicht hermetisch abschliesst, sondern an seinem Umfange in der Regel noch einen sehr schmalen Schlitz lässt, durch welchen die Ofengase entweichen können. Erst wenn durch abgesetzten Russ diese Fuge sich zudeckt, kann der Verschluss ein nahezu vollkommener werden. Gewöhnlich glaubt man, dass die Zeit zum völligen Schlusse der Klappe gekommen sei, wenn der Brennstoff keine Flammen mehr entwickele, sondern nur noch glimme. Gerade dieser Zustand ist der bedenklichste. Schliesst man die Klappe, so lange noch Flamme sichtbar ist, so treten unfehlbar die Destillationsproducte des Brennstoffs, welche eben die Flamme bilden, aus dem Ofen heraus und verpesten die Luft; man wird sofort, wie beim offenen Gashahn, darauf aufmerksam gemacht, dass Gefahr im Anzuge ist. Die glühenden flammfreien Kohlen riechen aber fast nicht, nur Koks wenig nach Schwefel (schwefliger Säure); somit können deren Verbrennungsproducte schon massenhaft einen geschlossenen Raum anfüllen, ehe sie unmittelbar wahrgenommen werden. Nun liegt allerdings die Frage nahe: „wie kann denn überhaupt eine Verbrennung fortschreiten, wenn der Abzug der Gase aus dem Ofen nach dem Kamine gesperrt ist? Dann kann doch auch keine frische Luft in den Herd zu dem Brennstoffe gelangen und das Feuer muss rasch erlöschen!" In der That würde das Letztere auch eintreten, wenn Ofen und Rauchrohr einen nach aussen hermetisch dichten Kanal bildeten. Dies ist aber, wie häufig schon der blosse Augenschein lehrt, keineswegs der Fall. Die meisten Oefen, die ja immer aus vielen Theilen aufgebaut sind, besitzen zahlreiche Fugen, die in Folge der Ausdehnung oder Zusammenziehung des Materials, besonders bei den Thonöfen, häufig sehr weit werden und bei letzteren einen gelegentlichen Umbau nöthig machen. Die Rauchrohre bestehen aus ineinander geschobenen Blechhülsen, die natürlich auch nicht völlig dicht verbunden sind. Ist nun durch die Rohrklappe die Verbindung des Ofens mit dem Kamine völlig gesperrt, so werden in Folge des von unten wirkenden Ueberdrucks der kälteren Stubenluft die Verbrennungsgase aus allen Fugen des Ofens herausgedrückt und durch die somit zu dem Feuer gelangende frische Luft wird eine fortdauernde Verbrennung erhalten, deren Stärke von Zahl und Grösse der Ofenfugen abhängt; und gerade bei einer solchen doch immer nur mässigen Verbrennung in Folge beschränkten Luftzutritts bildet sich

namentlich im Thonofen und in einem mit Steinen ausgemauerten eisernen Feuerherde das so giftige Kohlenoxyd in grösserer Menge.

Wenn die Rohrklappe völlig offen ist, so sind die Ofenfugen ganz gefahrlos, die inneren Verbrennungsgase können durch dieselben nicht entweichen; es hat vielmehr in Folge der steten Zugkraft des Kamins die Stubenluft nur umgekehrt das Streben, in den inneren Ofen hineinzutreten und nach dem Kamine mit den Verbrennungsgasen zu strömen; die Fugen wirken durch verstärkte Ventilation eher nützlich, wie schädlich.

Zuweilen schneidet man ein Segment oder eine Scheibe aus der Klappe, um dadurch einen völligen Abschluss unmöglich zu machen. In diesem Falle hat jedoch die Klappe überhaupt nur einen geringen Werth; denn die durch den Ofen ziehende Luft erfordert an sich nur einen ganz engen Kanal, so dass ein Durchlass von etwa Thalergrösse auch bei dem stärksten Feuer in der Regel genügt. Eine erhebliche Mässigung ist also bei einem selbst kleinen Ausschnitte der Klappe nicht möglich. Sofern die Klappe nicht sowohl zur Regelung der Verbrennung, als vielmehr zur Verhinderung des Durchströmens kalter Luft nach Erlöschen des Feuers dienen soll, um die innere Abkühlung eines Thonofens zu vermeiden, so erfüllt sie dann ihren Zweck natürlich auch nur sehr unvollkommen.

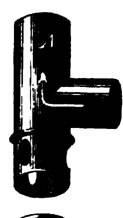
Das rationellste Verfahren, die Luft zu verhindern, in einen Ofen einzuströmen, würde natürlich sein, einen vollkommenen Abschluss vor dem Feuer herzustellen. Dann ist die Verbrennung ganz unmöglich, oder sofern sie schwach vorschreitet, haben die Gase doch immer ungehinderten Abzug in den Kamin.

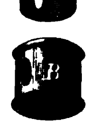
Dies Mittel ist jedoch nur schwierig anzuwenden, bei den meisten Oefen, welche aus vielen Theilen aufgebaut sind, geradezu unmöglich. Nur wenn der ganze Feuerkasten ein Gussstück bildet, und die Feuerthür aufgeschliffen ist, so dass an durchaus keiner andern Stelle, wie nur hier, Luft einziehen kann (wie z. B. bei den Füllöfen des Verfassers), ist eine vollkommene Regulirung des Feuers bis zum Erlöschen desselben durch Abschluss der Luft vor dem Brennstoff möglich.

Der Verfasser hat vor mehreren Jahren eine bis jetzt noch wenig bekannt gewordene einfache Vorrichtung ersonnen, die eine Regulirung des Feuers am Rauchrohr ermöglicht, darin aber vor der Klappe den Vorzug besitzt, dass sie den ungehinderten Abzug der Verbrennungsgase in den Kamin stets gestattet und dass sie zugleich eine nicht unbedeutende Ventilation verursacht (Fig. 282). Ein Knierohrstück A, dessen horizontaler Theil in den entsprechenden Ofenansatz eingesteckt wird, ist

nach unten verlängert. Die Verlängerung enthält drei längliche Einschnitte. Eine unten geschlossene Kapsel B mit gleichen Einschnitten kann über den verlängerten Theil geschoben und leicht herumgedreht werden. Bei einer gewissen Lage fallen die Einschnitte vollständig zusammen, bei einer andern Lage decken sich Einschnitte und Füllungen gegenseitig ganz zu. Damit die Kapsel nicht niedersinkt, hat sie oben einen Wulst, der sich beim Einschieben über einen ähnlichen Wulst des Rohrs legt. Um gleichwohl die Kapsel auch wieder leicht herausnehmen zu können, dürfen sich in der Nähe ihres Wulstes keine Nieten befinden, so dass eine leichte Federung am Rande und Erweiterung der Oeffnung möglich ist. Die Unterkanten der Oeffnungen der Kapsel sollen auch circa 5 Centimeter von dem Bodendeckel abstehen, damit etwa niederfallender Russ nicht aus den Oeffnungen heraustreten kann.

Fig. 282.





Die Wirkung dieser als „Ventilationsrohr" bezeichneten Vorrichtung ist diese: Wenn die Kapsel so gedreht ist, dass ihre Einschnitte mit denen des Rohres zusammenfallen, so strömt Luft in das Rohr ein und nach dem Kamin. Dadurch vermindert sich sofort ganz erheblich der Zug durch das Feuer und zwar aus zwei Gründen: einmal, weil eine Theilung des Zugs stattfindet, die Oeffnungen des Ventilationsrohrs aber viel grösser sind, als die Kanäle durch das Feuer; zweitens, weil die massenhaft eintretende kalte Luft eine Abkühlung des Kamins bewirkt und dadurch eine Verminderung seiner Zugkraft. Die Ursache, welche das Feuer überhaupt noch im Gange erhält, liegt wesentlich in der heissen Luftsäule des Ofens selbst, von dem Feuer an bis zu dem Ventilationsrohre gerechnet. Das Feuer ist durch Oeffnen des Ventilationsrohres nicht ganz zum Erlöschen zu bringen, aber sehr zu schwächen und, wenn man auch noch die Feuer- und Aschenthüren schliesst, ungefähr in dem Grade, wie bei Schluss einer vollen Rohrklappe, so lange sich noch kein Russ in dem Rohr abgesetzt hat. Ein Austreten der Ofengase durch das geöffnete Ventilationsrohr in die Stube ist absolut unmöglich, da der Ueberdruck der äusseren Luft immer nach dem warmen Kamine gerichtet ist und in dasselbe die heissen Ofengase unwiderstehlich eintreibt.

Wenn somit der Erfolg mit Rücksicht auf die producirte Wärme bei Anwendung des Ventilationsrohrs ungefähr der gleiche ist, wie bei der Rohrklappe, so ist doch die hygieinische Wirkung eine durchaus verschiedene. Mässigen des Feuers durch das erstere heisst soviel als Ventiliren des Raumes, denn das Eindringen der Stubenluft in das Rohr geschieht nicht, ohne dass nicht gleichzeitig von aussen durch Fenster- und

Thürritzen frische Luft in die Stube einströmt; ja, die äussere Luft bildet sogar bei dem ganzen Vorgange die Triebkraft; ihr Ueberdruck wirkt durch die vorhandenen kleinen Oeffnungen auf die Stubenluft und treibt dieselbe in den Kamin, mit dessen warmer Luftsäule sich die kalte Atmosphärenluft ins Gleichgewicht zu setzen sucht. Innerhalb eines hermetisch gegen aussen abgeschlossenen Raumes könnte man in dem Ofen kein Feuer anmachen.

Das Ventilationsrohr gestattet noch zu gewissen Zeiten eine besondere nützliche Anwendung. Wenn rasch warmes auf kaltes Wetter folgt, auch wenn durch Sonnenschein eine sehr warme Luftsäule über dem Dach erzeugt wird, gelingt es bekanntlich häufig nicht, Feuer in einem Ofen anzumachen; der Rauch zieht in die Stube, statt in den Kamin. Die Kaminluft ist in diesem Falle kälter, als die äussere Luft und somit schwerer; die Luft sinkt in dem Kamine nieder, statt darin aufzusteigen, der Zug hat die umgekehrte Richtung. Ein Flackerfeuer von etwas Papier in dem Kamine erzeugt, stellt sofort den richtigen aufsteigenden Zug her, die aus dem Ofen nachfolgenden Feuergase erhalten ihn auf die Dauer und da sie selbst die Kaminwände allmählich erwärmen, wird ein späterer Rückschlag geradezu unmöglich. In den Wohnungen hat man aber selten Zutritt zu dem Innern des Kamins, um darin ein Flackerfeuer zu machen; dafür dient denn nun gerade das Ventilationsrohr, ein darin erzeugtes Papierfeuer wirkt geradeso, als wäre dasselbe in dem Kamine, der aufsteigende Zug stellt sich sofort her und man hat nur die Kapsel zu schliessen, um den Zug allein durch den Feuerherd zu dirigiren.

Die Vorzüge, welche nach dem Vorstehenden das Ventilationsrohr vor der Rohrklappe besitzt, werden seine Empfehlung als Ersatz der letzteren rechtfertigen, um so mehr, als ein Mehraufwand mit seiner Herstellung nicht verbunden ist und jeder Blechner dasselbe nach der obigen Beschreibung anfertigen kann."

§. 220.

Ausführliche Mittheilungen und Untersuchungen über Mantelöfen.

Die Mantelöfen sind, wie bereits mehrfach erwähnt, in sehr vielen Fällen besonders zweckmässige Heizapparate; sie mögen desshalb ausführlicher besprochen werden.

Die Einrichtung des Mantelofens im Allgemeinen ist zwar einfach und

in weiten Kreisen bekannt; dennoch wird Jeder, der solche Apparate ausführen liess oder in die Lage gekommen ist, bei ungenügender Wirkung eines Mantelofens eine genauere Untersuchung desselben anzustellen, sich bei verschiedenen Theilen dieser Einrichtung gefragt haben, ob nicht vielleicht diese oder jene Abweichung von der getroffenen Anordnung zweckmässig sein möchte. Die verschiedenen Localverhältnisse sind hiebei von so grossem Einflusse, dass man selbst bei genauester Berechnung der nothwendigen Dimensionen eines solchen Apparates sich gern an die Erfahrung anlehnen wird.

Da ich seit zwanzig Jahren eine Menge solcher Apparate ausführen liess und deren Wirkungen unter sehr verschiedenen Verhältnissen beobachtet habe, so glaube ich meine Ansichten und Erfahrungen in dieser Richtung hier mittheilen zu sollen.

Wenn der Mantelofen nicht als Ventilationsapparat, sondern nur zur Erzielung einer gleichmässigen angenehmen Temperatur — zur Circulationsheizung — dienen soll, so besteht die Einrichtung wesentlich darin, dass man den Zimmerofen mit einem Mantel umgibt, der Zimmerluft unten das Einfliessen in den Mantel, dann an der Ofenfläche die gehörige Erwärmung und oben das Zurückfliessen in das Zimmer gestattet.

Soll aber der Mantelofen als Ventilationsapparat dienen, so lässt man in ähnlicher Weise, wie die Zimmerluft bei der Circulationsheizung, durch einen kurzen oder längeren Kanal die äussere Luft entweder aus der freien Atmosphäre, oder unter günstigen baulichen Verhältnissen, wovon weiterhin die Rede sein wird, aus einem gut gelüfteten anstossenden Raume, Vorplatze u. dgl. unten in den Mantel fliessen. Gleichzeitig entlässt man eine ebenso grosse Menge der kälteren und schlechteren Zimmerluft durch einen vom Fussboden aus emporgeführten Ableitungskanal direct oder indirect ins Freie.

So einfach dieses Princip des Mantelofens für die Circulationsheizung wie für die Ventilationsheizung ist, so lassen doch folgende Fragen sich auf verschiedene Art beantworten:

1) Soll der Mantelofen im Zimmer oder ausserhalb desselben geheizt werden?
2) Was für einen Heizofen soll man anwenden?
3) Aus welchem Material soll der Mantel gemacht werden?
4) Wie hoch soll der Mantel sein?
5) Wie weit soll der Mantel vom Ofen abstehen?
6) Wie gross soll die Einströmungsöffnung der Zimmerluft unten am Mantel sein?

7) Wie gross soll die obere Oeffnung des Mantels sein und in welcher Weise soll diese ausgeführt werden?
8) Wie soll oder darf für die Ventilationsheizung der Luftzuleitungskanal angelegt werden?
9) Wie gross soll sein Querschnitt sein?
10) Ist auch ein Ableitungskanal nothwendig, wie weit soll er sein und wie angelegt?
11) Müssen die Ableitungsöffnungen durchaus am Fussboden liegen?
12) Genügen immer die vorhandenen Schornsteine zum Zwecke ausgiebiger Ventilationsheizung?

Diese Fragen werden sich der Reihe nach wie folgt, beantworten lassen:

1. Soll der Mantelofen im Zimmer oder ausserhalb desselben geheizt werden?

Der Unterschied des Effectes ist kein bedeutender; zum Vorzuge der einen wie der andern Einrichtung lässt sich Einiges sagen, im Grunde aber nichts Anderes, als was überhaupt von den innen und aussen zu heizenden Oefen gilt. Was in dem einen Falle von der Bequemlichkeit, im andern von der Reinlichkeit u. s. w. gesagt werden könnte, mag hier als nahe liegend und bekannt nicht weiter erörtert werden.

Nicht zu übergehen dürfte jedoch dasjenige sein, was sich auf den Luftwechsel bezieht, wenngleich es bereits weiter oben angedeutet worden ist.

Wird der Ofen im Zimmer geheizt, so bewirkt er natürlich auch ohne besondere Ventilationsvorrichtung einigen Luftwechsel, welcher für Zimmer, wo sich nur wenige Personen aufhalten, in der Regel genügt. Es muss jedoch so viel kalte Luft, als Zimmerluft durch den Feuerraum entweicht, auf irgend welchen Wegen in das Zimmer fliessen, und es macht sich in Folge dessen nach denselben Naturgesetzen wie bei einem Kamine und gewöhnlichen Windofen an den Fenstern der bekannte Zug in unangenehmer Weise bemerkbar, wenn nicht wegen einer grossen Anzahl von Fenstern, wegen bedeutender Permeabilität der Wände, wegen örtlich begünstigter Luftzuführung durch die Thüren u. s. w. die äussere Luft vielfach vertheilt eindringt. Da die auf allen diesen Wegen von aussen eindringende kalte Luft zunächst sich über den Fussboden hin gegen den Ofen bewegt, so wird natürlich der Fussboden beständig abgekühlt.

Vermeidet man die genannte Ursache des Luftzuges an den Fenstern und der Abkühlung des Fussbodens dadurch, dass man den Ofen ausser-

halb des Zimmers heizt, so entsteht das Bedürfniss häufiger Lüftung mittels offener Fenster, was wieder mancherlei Unbehaglichkeiten verursacht.

In jedem Falle ist es also rathsam den Mantelofen nicht ohne Ventilationseinrichtung auszuführen; dann ist es ziemlich gleichgültig, ob der Ofen im Zimmer oder aussen geheizt wird; man wird aber mit Rücksichtnahme auf die specielle Raumbenützung Gründe finden, die eine oder andere Einrichtung vorzuziehen.

2. Was für einen Heizofen soll man anwenden?

Ein Thonofen wird in keinem Falle zweckmässig sein. Da ein solcher an und für sich langsam wärmt, und da überdies die strahlende Wärme, welche sonst zur schnelleren Erwärmung der festen Umgebung viel beiträgt, durch den Mantel fast gänzlich ausser Wirksamkeit gesetzt wird, so verlangt ein Thonofen, von einem Mantel umgeben, allzu lange Zeit für die Erwärmung eines Raumes; die Nachhaltigkeit der Wärme, welche sonst der Hauptvorzug der Thonöfen ist, kann man besser und mit grösserer Brennstoffersparung mittels des Mantels als mittels des Ofens selbst erreichen, vorausgesetzt, dass ein gewöhnlicher eiserner Ofen alter Construction zu benützen ist; ausserdem sind auch in Bezug auf die Nachhaltigkeit der Wärme Füllöfen vorzuziehen.

Mit Sicherheit kann man annehmen, dass irgend ein Ofen von Gusseisen oder Eisenblech, welcher ohne Mantel den betreffenden Raum hinreichend erwärmt hat, auch bei dem Mantelofen genügt, wenn nicht die Benützungsweise des Locals eine bedeutende Vermehrung des Luftwechsels verlangt.

Ob der Ofen ein Säulenofen oder sogenannter Circulirofen, ob er mit Holz, Torf, Steinkohlen oder Koks zu heizen ist, — das Alles ist von keiner wesentlichen Bedeutung. Soll jedoch immer oder meistens mit ausgiebiger Ventilation geheizt werden, so ist eine grössere Heizfläche nothwendig oder doch höchst zweckmässig, damit man des Morgens nicht allzu früh einheizen und den Ofen nicht überhitzen muss.

Soll, wie es gewöhnlich gewünscht wird, ein vorhandener Ofen benützt werden, der nicht eine hinreichend grosse Heizfläche hat, so vergrössere man die Heizfläche durch Einschaltung einer Trommel von Gusseisen oder Eisenblech oder durch Verlängerung der Rauchröhre. Steht die Wahl des Ofens aber frei, so wähle man einen den Localverhältnissen entsprechenden anerkannt guten Ofen mit reichlich grosser Heizfläche. Auf das Aussehen des Ofens kommt es nicht an, da er durch den Mantel verdeckt wird; aber darauf achte man, dass

sich der Ofen leicht reinigen lasse, ohne dass man den Mantel beseitigen muss, wenn nicht aus früher erwähnten Gründen ein leicht zu beseitigender Mantel angewendet wird. Nicht nothwendig ist es, dass die Reinigung gänzlich von oben und von unten möglich sei, da man auf den Seitenflächen eines festen Mantels Reinigungsthürchen, Schieber, Büchsen, Platten u. dgl. anbringen kann, welche sich leicht öffnen oder herausnehmen lassen. Füllöfen für Koksbrand bieten neben anderen Vortheilen auch den, dass sie selbst und die Rauchröhren nur selten gereinigt zu werden brauchen.

3. Aus was für einem Material soll der Ofenmantel gemacht werden?

Man kann den Mantel von Gusseisen, Eisenblech, Kacheln, Backsteinen, natürlichen Steinen u. s. w. ausführen. Eisen hat die Vorzüge leichterer Herstellung und Wiederbeseitigung, was bei Miethwohnungen von Wichtigkeit ist, sowie bei einfachen Mänteln den Vorzug, dass die Wärmestrahlung mehr wirksam bleibt. Es ist bekannt, dass man zuweilen eine in mässigem Grade strahlende Wärme angenehm findet, sich wohl auch gerne dann und wann durch die Wärmestrahlen den Rücken wärmen lässt.

Ich selbst habe Ofenmäntel von Eisenblech und Gusseisen, einfach und doppelt, auch mit Sandfüllung ausführen lassen, ferner aus gestellten oder gelegten Backsteinen, öfters aus grossen Sandsteinplatten von 0,10 bis 0,12 Meter Dicke. Diese Steinmäntel saugen zwar jedesmal beim Anheizen viel Wärme auf, ohne dabei eine merkliche Wärmestrahlung zu bewirken; es geht desshalb bei solchen die Erwärmung des Zimmers langsamer als bei einfachen Eisenmänteln von Statten, und von einer Niederlegung, Umklappung oder Aufziehung zum Zwecke schnellerer Anheizung kann bei ihnen keine Rede sein; allein bei den Mänteln aus Backsteinen, wie aus Sandsteinplatten, hat sich die Nachhaltigkeit der Wärme so angenehm und vortheilhaft erwiesen, dass ich, wenn auch nicht für Schulen, doch für die mehr continuirlich benützten Wohnräume die Herstellung von Ofenmänteln aus irgend einem Steinmaterial, — wo es auf die Kosten wenig ankommt, vielleicht aus geschliffenem Granit, Marmor u. dgl. — gutheissen kann. Aehnlich verhalten sich übrigens auch eiserne Mäntel mit Sandfüllung.

Will man die Eigenschaft der Wärmestrahlung in gewissem Grade mit jener der Wärmeansammlung vereinigen, so kann man dieses am Steinmantel durch Einsetzen einer beliebig grossen Füllung von Eisenblech, Gusseisen oder Messing, die man etwa auch zum Oeffnen ein-

richtet, um zuweilen sogar die unmittelbare Strahlung des Ofens selbst geniessen zu können.

Obiges gilt für die Benützung älterer gewöhnlicher Oefen mit veränderlicher und häufig unterbrochener Wärmeentwicklung. Bei den mindestens für einige Stunden in gleichmässiger Wärmeabgabe zu erhaltenden Füllöfen ist es unwesentlich. Da sind einfache, verhältnissmässig billige und leicht zu versetzende Mäntel von Eisenblech oder Gusseisen vollkommen zweckmässig. Doppelte oder dreifache Mäntel von Eisenblech mit unten und oben offenen Hohlräumen eignen sich da, wo der Zimmerraum in unmittelbarer Nähe des Ofens benützt werden soll, also die Strahlung möglichst zu verhindern ist, und wo zugleich rasche Lufterwärmung der Wärmereservirung vorgezogen wird.

4. Wie hoch soll der Mantel sein?

Bei der Beantwortung dieser Frage muss man verschiedene Umstände gegenseitig abwägen. Je höher der Mantel ist, desto grösser ist unter sonst gleichen Umständen die Geschwindigkeit der Luftströmung durch denselben. Eine möglichst grosse Höhe des Mantels scheint namentlich bei der Circulationsheizung, wo die Höhe des Mantels als alleinige Druckhöhe für die Berechnung der Geschwindigkeit angenommen werden kann, vortheilhaft, um möglichst schnell die ganze kalte Luftmasse des Zimmers zur Erwärmung an den Ofen zu führen.

Vergrösserung der Geschwindigkeit und damit geringere Erwärmung einer grösseren Luftmasse in gewisser Zeit ist auch aus dem Grunde vortheilhaft, weil die den Ofen bespülende kältere Luft demselben die Wärme besser entzieht. Je höher also der Mantel ist, desto schneller kann die gesammte Zimmerluft mässig erwärmt werden, und desto besser kann die im Feuerraume entwickelte Wärme ausgenützt werden.

Diese scheinbare Wichtigkeit der bedeutenden Mantelhöhe wird um Vieles abgeschwächt, wenn man bedenkt, dass die Geschwindigkeit der Luftströmung unter sonst gleichen Verhältnissen nur im Verhältnisse der Quadratwurzel der Druckhöhe wächst, die Erhöhung des Mantels von 2 Meter auf 3 Meter also nur eine Geschwindigkeitsvergrösserung von $\sqrt{2}$ auf $\sqrt{3}$ oder ungefähr von 4 auf 5 bewirken könnte, dass jedoch auch diese Geschwindigkeitsvergrösserung nicht erfolgen wird, weil — abgesehen von den vergrösserten Reibungswiderständen — die wegen grösserer Druckhöhe mit grösserer Geschwindigkeit durch den Mantel strömende Luft sich am Ofen weniger erwärmt, die Geschwindigkeiten der Luftströmung sieh aber auch im Verhältnisse der Quadratwurzel der Temperaturdifferenzen ändern. Es ist hiebei verschiedene Mantelhöhe

bei bestimmter Höhe des Heizofens vorausgesetzt, also jedesmal gleiche Heizfläche.

Wenn man ferner bedenkt, dass man in der Vergrösserung des horizontalen Luftquerschnittes im Mantel ein Mittel hat zur Ausgleichung des Nachtheiles geringer Druckhöhe; wenn man endlich bedenkt, dass die etwa in mittlerer Höhe des Zimmers aus dem Mantel strömende Luft bei entsprechender Mündungseinrichtung sich viel schneller mit der übrigen Luft vermengt und diese erwärmt, als wenn der Mantel bis nahe an die Zimmerdecke reicht, dass auch die Reinigung des Ofens bei sehr hohem Mantel erschwert ist, der höhere Mantel mehr kostet und das Gebälke mehr belastet; — so hat man Gründe genug, den Mantel nicht sehr hoch zu machen. Niedere, breite Mantelöfen sind die zweckmässigsten, aber sie finden schwer Eingang, weil sie verhältnissmässig viel Raum wegnehmen, ferner hauptsächlich aus dem Grunde, weil man an schlanke Oefen gewöhnt ist und niedrige breite Oefen unschön findet.

Bei der Ventilationsheizung wird überdies der Einfluss der Mantelhöhe auf die Geschwindigkeit der Luftströmung sehr unbedeutend. Man kann den Mantel etwas niederer machen als der Ofen selbst ist, so dass die vorspringende Deckplatte des Ofens der ausfliessenden Luft eine nahezu horizontale Richtung ertheilt oder doch das unmittelbare heftige Aufströmen gegen die Zimmerdecke schwächt, dagegen die Vermischung der warmen Luft mit der kälteren begünstigt. Das Gleiche wird erreicht, wenn man den Mantel etwas höher macht als den Ofen und in einem der nöthigen Ausflussöffnung entsprechenden Abstande eine horizontale Platte über dem Mantel anbringt, welche ebenso weit wie das Mantelgesims oder noch etwas weiter über den Mantel vorspringt. Im Wesentlichen dasselbe ist es auch, wenn man an dem oben gedeckten Mantel unter dessen Gesims einen Fries mit reichlich grossen Oeffnungen anwendet, die bei eisernen Mänteln als zierliche Rosetten ausgebildet sein können.

5. Wie weit soll der Mantel vom Ofen abstehen?

Vielfach besteht die Ansicht, man müsse den Zwischenraum zwischen dem Ofen und dem Mantel recht eng machen und einen möglichst gleichmässigen Abstand rings um den Ofen einhalten, damit die im Mantel zu erwärmende Luft auch in gehörige Berührung mit der Heizfläche des Ofens komme.

Auch stellt man den Satz auf, die Geschwindigkeit der Luftströmung werde in dem Verhältnisse zunehmen, wie der Luftquerschnitt verengt werde; und da die zwischen heissen Wänden hindurchströmende Luft

bei engem Querschnitte heisser wird, als bei weiterem, so scheint durch die Verengung des Luftquerschnittes ein grosser Vortheil erreichbar.

Dagegen möchte ich behaupten, dass man den fraglichen Abstand nicht leicht zu gross machen kann und dass auch die Gleichmässigkeit jenes Abstandes nicht von Wichtigkeit ist. Der Satz, dass die Geschwindigkeit der Strömung einer Flüssigkeit in einem Kanale oder in einer Röhre bei ungleichen Querschnitten im umgekehrten Verhältnisse wie der Querschnitt sich ändert, gilt nur in Bezug auf Verminderung der Maximalgeschwindigkeit an den erweiterten Stellen mit Beibehaltung des engsten Querschnittes, nicht aber umgekehrt, wenn es sich nämlich nicht um die einfache Vergleichung von Geschwindigkeiten in einem Systeme von ungleichen Querschnitten handelt, oder um die Berechnung der Geschwindigkeit in irgend einem Querschnitte aus einer für einen anderen Querschnitt des unveränderten Systems bekannten Geschwindigkeit, sondern um die Berechnung der erreichbaren Geschwindigkeit überhaupt. Man kann nach der Druckhöhe und Temperaturdifferenz das Maximum der im Systeme möglichen Geschwindigkeit berechnen, und diese Maximalgeschwindigkeit kann auch im engsten Querschnitte nicht überschritten werden, sie gilt eben, bei verschiedenen Querschnitten, nur für den engsten Querschnitt.

Die etwa für die Einströmungsöffnung des Mantels aus der Druckhöhe und Temperaturdifferenz berechnete Geschwindigkeit kann daselbst nicht erreicht werden, wenn an irgend einer Stelle im Mantel der Querschnitt geringer ist als dort, ja sie kann nicht einmal erreicht werden, wenn dieser Querschnitt gleich bleibt; denn sobald überhaupt eine Luftströmung im beabsichtigten Sinne vor sich geht, muss der Fall einer Lufterwärmung am Ofen oder Mantel gegeben sein, und die sich in Folge der Erwärmung ausdehnende Luft verlangt einen grösseren Querschnitt, wenn sie ungehemmt den ganzen Raum durchfliessen soll. Die Gleichheit aller Querschnitte bei zunehmender Temperatur des Luftstromes auf seinem Wege von der unteren zur oberen Mantelöffnung ist hiebei ähnlich zu beurtheilen, wie die Verengung der Querschnitte nach oben bei einem Luftstrome von constanter Temperatur.

Angenommen, der horizontale, beziehungsweise rechtwinkelig auf die Richtung des Luftstroms genommene Querschnitt im Mantel sei durchgehends oder an einer beliebigen Stelle viel grösser, vielleicht doppelt so gross, als die untere Mündung, und die Abstände des Mantels vom Ofen in demselben horizontalen Querschnitte seien sehr verschieden, indem der Ofen rund, der Mantel aber eckig wäre. Diese Umstände würden dem guten Effecte keineswegs hinderlich sein, wenn durch ent-

sprechenden oberen Abschluss des Mantels die Doppelströmung — das Herabfliessen der oberen bereits warmen Zimmerluft in den Mantel neben der ausfliessenden heisseren Luft — vermieden wird.

Die unten einfliessende Luft wird bei der vorausgesetzten Einrichtung nicht sogleich mit Heftigkeit emporgepresst, sondern sie umfliesst den Ofen um so ruhiger, je grösser der horizontale Luftquerschnitt im Mantel ist; um so mehr entsteht auch dabei eine im verticalen Sinne rotirende Bewegung der Lufttheilchen zwischen dem Ofen und Mantel, und zwar von der Mantelfläche gegen die Ofenfläche, so lange der Mantel kalt, ungefähr von der Mitte des Zwischenraumes aus gegen beide Flächen, sobald die innere Mantelfläche erhitzt ist; denn die aus der Verschiedenheit der Temperatur resultirende Verschiedenheit des Druckes in jeder horizontalen Luftschicht sucht sich auszugleichen, bringt im Hauptstrome eine secundäre Bewegung hervor, indem die kältesten Lufttheilchen einer Schicht zwischen dem Ofen und Mantel beständig die bereits mehr erwärmten specifisch leichteren Theilchen über sich heben und deren Stelle an den heissen Flächen einnehmen, sogleich aber wieder von nachfliessenden kälteren Lufttheilchen verdrängt werden. Auf diese Weise gelangen immer nur die heissesten Lufttheilchen an die obere Mündung des Mantels, die kälteren aber, die besser geeignet sind, dem Ofen Wärme zu entziehen, bleiben noch zurück.

Solche Trennung der heisseren Lufttheilchen von den kälteren kann dagegen bei sehr engem Raume zwischen dem Mantel und Ofen wegen der heftigeren Strömung und Inertie nicht leicht stattfinden; der Ofen ist in solchem Falle dauernd in Berührung mit einer heisseren Luftschicht, welche ihm weniger Wärme entzieht.

Auch wird nicht ganz unberücksichtigt zu lassen sein, dass bei sehr engem Luftquerschnitte der Reibungswiderstand bedeutend wird, wodurch nicht nur eine Verminderung der Geschwindigkeit erfolgt, sondern auch ein gewisses Wärmequantum zur Ueberwindung des Reibungswiderstandes aufgewendet werden muss, welches als mechanisches Aequivalent der Wärme unserem Hauptzwecke entzogen wird.

Ich halte es also für zweckmässig, den Abstand des Mantels vom Ofen so gross zu machen, als es sich mit anderen Rücksichten, wobei hauptsächlich Schönheit und Raumbenützung Gewicht haben, vereinigen lässt.

6. Wie gross soll die Einströmungsöffnung der Zimmerluft unten am Mantel sein?

Für mittlere Localverhältnisse bei Wohnzimmern genügt eine Oeffnung von etwa $^1/_{10}$ qm, also z. B. von 0,50 m Breite und 0,20 m Höhe.

Eine grössere Oeffnung, so lange die Längendimension vorwiegend bleibt, ist vortheilhaft, doch auch nur bis zu einer gewissen Grenze.

Hat man nämlich den engsten horizontalen Luftquerschnitt im Mantel den localen Verhältnissen entsprechend möglichst gross festgestellt, so ist es in keinem Falle von Nutzen, die untere Mündung viel grösser zu machen als jenen Querschnitt, weil durch diese Mündung keine grössere Luftmenge einfliessen kann, als die, welche in gleicher Zeit durch den engsten horizontalen Querschnitt des Mantelraumes fliesst. Eine geringe Vergrösserung, nebst einer conischen Erweiterung nach aussen wäre wegen der Beseitigung des Einflusses der bei dem geringen Ueberdrucke ebenfalls geringen Contraction an der unteren Mündung gerade nicht besonders wichtig, doch immerhin begründet. (§. 82.)

Zweckmässig ist es immer, die Mündung möglichst lang und weniger hoch auszuführen, damit fortwährend bei der Circulationsheizung eine möglichst grosse Luftmenge, aber nur von der kältesten Luftschicht des Zimmers, zum Ofen fliesst. Diesen Zweck erreicht man zuweilen um so leichter und besser, wenn man anstatt einer einzigen Mündung deren einige an den verschiedenen Seiten anbringt. Oft wird dieses aber für die Construction und Behandlung des Apparates unbequem sein.

Bei den im Zimmer geheizten Oefen lässt sich in der Regel die in Rede stehende untere Mündung des Mantels zugleich als Heizöffnung benützen, und ist dann mittels eines Thürchens von Eisenblech, Gusseisen oder Messing während der Ventilationsheizung geschlossen zu halten.

7. Wie gross soll die obere Oeffnung des Mantels sein und in welcher Weise soll diese ausgeführt werden?

Diese Frage mag vorerst ohne Berücksichtigung der Ventilation zur Behandlung kommen.

Es liegt nahe, die Ausmündung so zu berechnen, dass der wärmere Luftstrom beim Ausfliessen mit der seiner Druckhöhe und Temperatur entsprechenden Geschwindigkeit sie eben so vollständig ausfüllt, wie derselbe aber kältere Luftstrom beim Einfliessen in den Mantel die untere Mündung; es liegt also nahe, das Verhältniss zweier Oeffnungen aufzusuchen, welche bei gegebener Druckhöhe in der Zeiteinheit gleiche Luftmassen von ungleicher Temperatur durchfliessen lassen.

Einerseits ist nun bekannt, dass die Luft unter constantem Atmosphärendrucke bei einer Temperaturerhöhung von 1° C. ihr Volumen um 0,003665 vergrössert; andererseits ist oben (§. 67, 68, 69) nachgewiesen, dass unter sonst gleichen Verhältnissen die Geschwindigkeit der Strömung

der warmen Luft grösser ist als der kälteren Luft. Es müssten sich die beiden Querschnitte oder Oeffnungen direct verhalten wie die Quadratwurzeln aus den Räumen, welche durch die Gewichtseinheit der durch jene Oeffnungen fliessenden Luft, je nach ihrer von der Temperatur abhängigen Ausdehnung, eingenommen werden, oder mit anderen Worten, die Grössen der Oeffnungen müssten sich umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der durch diese Oeffnungen fliessenden Luft. (§. 70.)

Die Rechnung wäre unter Annahme bestimmter Temperaturdifferenzen aufzustellen; es würde sich z. B. bei einem Temperaturunterschiede von 100° C. die Einmündung zur Ausmündung verhalten müssen wie 1 : 1,17 oder nahezu wie 6 zu 7.

Die Temperaturdifferenz kann von 0° bis 100° C. wechseln; man wird aber gut daran thun, die Querschnitte einander entsprechend für den Beginn der Heizung, also für geringe Temperaturdifferenz anzunehmen, sie demnach nahezu gleich gross oder auch ganz gleich zu machen. Wird die Ausmündung nicht grösser als die Einmündung ausgeführt, so findet auch bei geringen Temperaturunterschieden nicht leicht eine Gegenströmung statt, bei stärkerer Erwärmung aber fliesst die Luft unter möglichst grossem Drucke, mit einer bedeutenden, wenngleich durch Reibung etwas verminderten Geschwindigkeit aus.

Wird der mit bedeutender Geschwindigkeit ausfliessenden Luft mittels einer in entsprechender Höhe oberhalb des Mantels angebrachten Platte, beziehungsweise durch verticale Oeffnungen, wie bereits bei der Besprechung der Mantelhöhe angedeutet, eine horizontale Richtung gegeben, so gelangt diese ausfliessende warme Luft nicht direct gegen die Zimmerdecke, sondern erst in einem Parabelbogen, verbreitet sich also dabei mehr im Zimmer, als wenn sie langsamer durch eine grössere Mantelöffnung und geradezu an dem oben offenen Mantel ausfliesst und folglich sogleich gegen die Decke gehoben wird, wobei überdies leicht eine Gegenströmung von oben herab in den Mantel stattfindet. Der Heizeffect würde durch solche Gegenströmung noch in doppelter Weise gemindert: einmal, weil die mit dem Ofen von oben herab in Berührung kommende bereits warme Luft dem Ofen die Wärme nicht so gut entzieht, als kältere Luft, und ferner, weil jene Menge warmer Luft der oberen Schichten, welche von oben herab in den Mantel zurückfliesst, nicht zur Erwärmung der unteren Schichten des Zimmers beiträgt.

Betrachtet man die Sache mit Rücksicht auf die Ventilationsheizung, so wird in der Regel die nach dem Vorausgehenden ausgeführte obere Mantelöffnung grösser sein als die nothwendige Einströmungs-

öffnung der äusseren frischen Luft; eine Gegenströmung von oben herab in den nach obigen Grundsätzen eingerichteten Mantel wird dennoch bei offenen Ventilationskanälen selten vorkommen, weil die äussere Luft mit so bedeutender Geschwindigkeit durch den Mantel strömt, dass die Geschwindigkeit der Fortbewegung sogar in den erweiterten Querschnitten noch gross genug ist, um eine Gegenströmung nicht zu dulden.

Wenn man die heisse Luft durch Oeffnungen im Gesimsfries des Mantels ausfliessen lässt, so ist darauf zu achten, dass diese Oeffnungen reichlich gross sind und dass auch die Luft aus dem obersten Theile des Mantelraumes abfliessen kann. Eine Deckplatte, welche über dem Mantelgesims, also zu weit über den Friesöffnungen läge, müsste einige Oeffnungen für das Abströmen der heissesten Luft haben.

Bei niedrigen Mantelöfen und namentlich in beschränkten Zimmern kann die seitliche Ausströmung der heissen Luft unbequem werden und die Emporführung derselben unmittelbar über dem Ofen aus diesem Grunde zweckmässiger sein.

8. Wie soll oder darf für die Ventilationsheizung der Luftzuleitungskanal angelegt werden?

Die Ventilationsluft aus dem Freien an einer Stelle zu entnehmen, wo die Luft rein, nicht durch nahe Unrathhaufen u. dgl. verschlechtert ist, und sie möglichst direct mittels eines horizontalen oder besser etwas ansteigenden Kanals an den Fuss des Mantels zu führen, kann in den meisten Fällen als eine gute und wegen ihrer Einfachheit um so zuverlässigere Einrichtung empfohlen werden.

Einen solchen Luftkanal für *mehrere Mantelöfen gemeinsam* anzulegen, *vermeide* man, da dieses leicht Rückströmungen aus dem einen Mantel in den andern zur Folge hat, wenn die Temperaturen in den Zimmern und Mänteln sehr ungleich sind und ungünstige Witterungsverhältnisse, namentlich ungleiche Windpressungen einwirken. Auch die Entnahme der Ventilationsluft von einem *Vorplatze* ist nur unter besonderen Umständen zulässig. Ehe man sich dazu entschliesst, ist nicht nur festzustellen, ob die Luft im Vorplatze immer genügend rein ist, sondern auch, ob der nothwendige Ueberdruck von da gegen das Zimmer immer vorhanden sein wird. Bei gut geschlossenem Vorplatze kann dieser Ueberdruck und folglich der Luftzufluss mangelhaft sein; bei einem gegen die Treppe hin nicht geschlossenen Vorplatze, namentlich in den unteren Stockwerken hoher Gebäude, kann bei starker Aussenkälte die das Treppenhaus und den Dachraum füllende Luft eine so viel wärmere, leichtere Luftsäule bilden, dass diese keinen Ueberdruck

gegen den Mantel hin ausübt, dass im Gegentheil wegen eines Ueberdrucks der Aussenluft gegen das Zimmer und den Mantelraum das Ausfliessen der Zimmerluft durch den Mantel in den Vorplatz erfolgt. Hat einmal diese umgekehrte Strömung begonnen, so nimmt sie bei stärkerer Heizung des Mantelofens leicht noch zu, indem dadurch das Treppenhaus noch mehr erwärmt wird. Das Oeffnen der Hausthür oder eines Fensters im Stockwerk des Mantelofens kann den unerwünschten Vorgang abstellen; allein dieses ist oft mit anderen Unzukömmlichkeiten verbunden.

Auch die Aufwärts- oder Abwärtsführung des Ventilationskanals auf grosse Höhen in einer Mauer kann unter ungünstigen Umständen nachtheilig werden, wenngleich Beides unter günstigen Umständen nicht nur zulässig sein, sondern sogar sich vollkommmen geeignet erweisen kann, wie aus verschiedenen im Abschnitt über Ventilation enthaltenen Untersuchungen zu entnehmen ist.

Gleiches gilt von eingeschalteten Luftkammern. Sie bieten zwar den Vortheil, dass ungünstige Winde nicht so leicht eine Unregelmässigkeit, durch Pressen eine Strombeschleunigung, durch Saugen eine Stromverzögerung oder auch Rückwärtsströmung, bewirken; allein solche Störungen kommen dennoch vor, und die Rückströmungen sind dann um so schädlicher, wenn von einer Luftkammer Kanäle nach verschiedenen Zimmern geführt sind.

Man kann zwar Rückstossklappen in den einzelnen Kanälen anbringen, aber wenn man solche anwenden will, werden auch in directen Kanälen die Rückströmungen verhütet. Uebrigens kommt nach meinen Erfahrungen auch in solchen ohne Rückstossklappen selbst bei stürmischem Wetter nur selten eine so dauernde Rückströmung vor, dass daraus bei Einzelkanälen ein bedeutender Nachtheil entstehen würde.

Luftkammern bieten ferner die Möglichkeit, die Ventilationsluft von Staub und Russ zu reinigen, und zwar theilweise schon dadurch, dass sich in ihnen wegen des grossen Querschnitts die Luftgeschwindigkeit so vermindert, dass die schwereren Staubtheile zu Boden sinken und liegen bleiben, ferner durch leichte Anwendung von Luftfiltrir- und Luftwasch-Apparaten in denselben. Aber es besteht doch nur selten das Bedürfniss, die Luft reiner in die Zimmer zu führen, als sie im Freien ist, ausser bei windigem trockenem Wetter in der Nähe staubiger Strassen und Plätze. Ein sehr empfehlenswerthes und einfaches Mittel, um solchen Staub absetzen zu lassen, ist die Anwendung nicht zu kurzer und möglichst weiter Luftzuführungskanäle, was man je nach der Oertlichkeit berücksichtigen möge.

Wenn die Einrichtung auch zur Ventilation im Sommer dienen soll,

sind hoch in den Mauern emporgeführte Zuleitungskanäle ungeeignet, weil sie alsdann oft kälter sind als die Aussenluft, und in solchen Fällen wegen des undichten Schlusses der höher liegenden warmen Räume die Emporführung der kälteren Luft ohne zeitweise Anwendung von mechanischen Ventilatoren überhaupt nicht, oder doch nicht in gewünschter Menge und Regelmässigkeit erreicht werden könnte. Noch mehr gilt dieses bei Anwendung tief liegender kalter Luftkammern.

9. Wie gross soll der Querschnitt des Luftzuleitungskanals sein?

Der Querschnitt des Luftzuleitungskanals ist nach der speciellen Benützungsweise des Locals zu berechnen. Als Grundlage hiefür können die in §. 111 gegebenen Mittheilungen über das Ventilationsquantum gelten. In Wohnzimmern, wo die Ursachen der Luftverschlechterung nicht sehr vielfach und verderblich sind, genügt die stündliche Luftzuführung von 20 Cubikmeter für jede Person.

Noch weiter kann man mit dieser Anforderung herabgehen für Räume, welche nicht beständig, sondern nur mit grösseren Unterbrechungen benützt werden.

In Schulen für Kinder genügt die Zuführung eines Luftquantums von 10 Cubikmeter stündlich pro Kopf sicher bei der in Rede stehenden Ventilationseinrichtung, bei welcher — richtige Anlage und richtige Behandlung vorausgesetzt — die Luftverbesserung weniger nach der gewöhnlichen Art der mechanischen Ventilation durch Vermischung der reinen Luft mit der schlechten erfolgt, vielmehr ein vollständiges Verdrängtwerden der schlechten Luft durch reine stattfindet, freilich nicht mit so regelmässiger Schichtung wie sich Oel, Wasser, Quecksilber über einander lagern.

Dass aber wirklich der durch den Mantelofen bewirkte Luftaustausch ein vollständiger, von oben nach unten fortschreitender ist, davon habe ich mich nicht nur in Wohnzimmern, sondern auch in mehreren Dorfschulen, wo die Luft vor der Ventilation äusserst übelriechend war, häufig durch den Geruch in verschiedenen Höhen nach Ingangsetzung der Ventilation überzeugt; noch mehr augenfällig durch Entwicklung von Wachholderrauch im Luftzuführungskanale. Der schlechte Geruch nimmt in auffallender Weise von oben nach unten ab, und der Wachholderrauch verbreitet sich in Schichten von oben nach unten, so dass man ihn in der oberen Zimmerhälfte nicht mehr sieht und riecht, während noch die untere Zimmerhälfte davon angefüllt ist.

Solche Beobachtungen habe ich nicht etwa in Räumen angestellt,

wo sich ausser mir Niemand befand und desshalb die Luft im Ganzen ruhig war, sondern in Schulsälen bei 60 bis 80 Schulkindern, wo jedes als warmer Körper ein Motor war, um die Mischung der Luftschichten zu begünstigen, wo ich überdies mit dem Lehrer hin und her ging und die Schulkinder keineswegs zum Stillsitzen anhielt.

Die theoretische Geschwindigkeit der Luftströmung im Zuleitungskanale der frischen Luft kann man nach der Gleichung berechnen:

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + T}}.$$

Darin ist C die secundliche Geschwindigkeit; $g = 9{,}81$ Meter, H die Druckhöhe und zwar hier die Zimmerhöhe; T die mittlere Temperatur der warmen Luftsäule, t die äussere Temperatur, beide Temperaturen in Celsiusgraden. Den Ableitungskanal bei der Druckhöhe unberücksichtigt zu lassen, ist zu grösserer Sicherheit dienlich.

Die theoretische Geschwindigkeit C der Luftströmung wird in der Wirklichkeit nicht erreicht, sondern durch die verschiedenen Reibungs- und Contractionswiderstände, sowie durch das Eindringen von Luft durch zufällige Oeffnungen verringert, und zwar ungefähr bis auf die Hälfte bei schlecht schliessenden Thüren und Fenstern, bei langen, engen, grossen Theils horizontal oder geneigt geführten Leitungen und sonstigen Unregelmässigkeiten.

Bei gutem Schlusse des Raumes, bei nicht sehr engen Kanälen, kurzer Leitung, Vermeidung scharfer Krümmungen, Verminderung der Contraction durch entsprechende Erweiterung der betreffenden Mündungen — wird man 0,7 C als wirkliche Geschwindigkeit annehmen dürfen, und man wird danach reichlich genügenden Querschnitt berechnen, wenn man ungünstige Temperaturverhältnisse in Rechnung bringt, etwa für geringes Heizbedürfniss $t = 10^0$ und $T = 30^0$ C. Uebrigens lässt sich unter allen Umständen die wirkliche Geschwindigkeit genauer nach §. 83 und §. 166 ff. berechnen.

10. Ist auch ein Ableitungskanal nothwendig? Wie weit soll er sein und wie angelegt? Genügt nicht etwa schon jede einfache Oeffnung in der Mauer?

Bei Ventilationsanlagen, wo die nöthige Menge frischer Luft durch mechanische Kraft eingetrieben wird, können die sogenannten Evacuationskanäle mitunter durch einfache Oeffnungen nach dem Freien ersetzt werden und sind selbst diese zuweilen nicht nothwendig.

Anders ist es aber bei der Ventilation mittels des Mantelofens. Man kann sich leicht bei einer bestehenden derartigen Einrichtung überzeugen, wie ausserordentlich gross der Unterschied der Gesammtwirkung ist, wenn man abwechselnd den Ableitungskanal öffnet und schliest, den Zuleitungskanal aber dabei gleichmässig offen lässt.

Uebrigens lässt sich das auch schon vom theoretischen Standpunkte aus leicht einsehen. Man denke sich die Ventilationsheizung mittels des Mantelofens in Gang gesetzt, jedoch keinen Ableitungskanal und vorerst auch keine solche besondere Oeffnung vorhanden.

Angenommen, der zu ventilirende Raum habe sehr dicht schliessende Thüren und Fenster, auch sehr starke, dichte oder feuchte Mauern, so dass durch die zufälligen Oeffnungen nur wenig Luft entweichen kann; dann wird auch ebenso wenig reine Luft durch den Zuleitungskanal in den Raum gelangen können.

Angenommen ferner, die Fenster und Thüren schliessen schlecht und die Permeabilität der Mauern sei bedeutend; dann entweicht doch fast nur in der oberen Hälfte des Zimmers, weil da der Druck von innen nach aussen stärker ist, die Luft, und zwar die reinere wärmere Luft, während die kälteste und schlechteste Luft des Raumes zurückbleibt.

Angenommen drittens, es sei eine einfache Oeffnung ungefähr von der Grösse der Zuleitungsöffnung im Zimmer angebracht und zwar in der Nähe der Zimmerdecke; dann entweicht beständig die durch den Mantel hereingeführte reine warme Luft, die Luft im grössten Theile des Zimmers bleibt fortwährend kalt und schlecht.

Angenommen viertens, es sei eine einfache Oeffnung in der Nähe des Fussbodens angebracht; dann entweicht in Folge des inneren Ueberdrucks die kälteste und schlechteste Zimmerluft nur in dem Falle durch diese Oeffnung, wenn der Raum an Wänden, Thüren und Fenstern fast hermetisch geschlossen ist. Ein so dichter Schluss ist aber nie zu finden. Es wird desshalb nicht nur die durch den Mantel eingeführte warme Luft durch die höheren zufälligen Oeffnungen entweichen, sondern auch durch jene Oeffnung in der Nähe des Fussbodens kalte Luft einfliessen anstatt ausfliessen. Wenn aber ausnahmsweise — etwa durch Einwirkung äusserer Luftströmungen — wirklich ein Entweichen der inneren schlechten Luft durch jene Oeffnung erfolgt, so ist doch die Geschwindigkeit des Luftaustausches wegen mangelnder Druckhöhe sehr gering und jedenfalls ungenügend.

Angenommen fünftens, die Ableitungsöffnung gegen das Freie liege in mittlerer Höhe des Zimmers; dann wird je nach dem mehr oder minder dichten Schlusse des Raumes und nach der wechselnden Einwirkung der

äusseren Luftströmungen bald die innere Luft von mittlerer Temperatur und Reinheit entweichen, bald in sehr lästiger Weise kalte Luft von aussen einfliessen. In keinem Falle wird also dadurch der Zweck erreicht.

Aus diesen Betrachtungen wird auch gefolgert werden können, wie mangelhaft die Lüftung mittels der höher oder tiefer angebrachten Lüftungsscheiben an den Fenstern sein muss.

Es ist also ein Ableitungskanal nothwendig, und zwar ein vom Fussboden des Zimmers abgehender Kanal, welcher die Ausströmung der schlechteren und kältesten Zimmerluft in die Atmosphäre vermittelt. Da während der Ventilation mittels des geheizten Mantelofens die abzuführende Luft wärmer ist als jene der äusseren Atmosphäre, so muss die Ableitung im Wesentlichen eine aufwärtsgerichtete sein, wenn auch dabei horizontale, schräge und unter gewissen Bedingungen sogar abwärtsgehende Strecken vorkommen dürfen.

Was die Weite des Ableitungskanals angeht, so ist es zwar besser, den Querschnitt zu gross anzulegen und Schieber, Drosselventile u. dgl. für die beliebige Verminderung des Luftabflusses anzubringen, als den Kanal zu eng zu machen. Indessen wird die Regulirung selten richtig gehandhabt, wesshalb auch die Vermeidung allzu grosser Querschnitte rathsam ist, abgesehen von baulichen Schwierigkeiten und unnöthigen Mehrkosten.

Man ist leicht geneigt anzunehmen, dass gleiche Weite mit dem Zuleitungskanal zweckmässig sei. Diese Annahme wäre nahezu richtig, wenn das Zimmer als ein dichter Behälter angesehen werden könnte und die ganze Ventilationsanlage als ein einziges Leitungssystem mit Fortpflanzung gleichen Ueberdrucks, also mit gleicher Druckhöhe. Aus den bei den Mantelmündungen besprochenen Gründen sollte alsdann der Ableitungskanal der Zimmerluft etwas weiter sein als der Zuleitungskanal der kälteren Aussenluft, wegen des geringen Temperaturunterschiedes wäre aber der Unterschied der berechneten Oeffnungen so gering, dass man beide als gleich gross annehmen dürfte.

Unsere Wohnräume sind jedoch keine luftdichten Behälter. Eine zu grosse Weite des Ableitungskanals würde das unangenehme Eindringen der äusseren kalten Luft durch die zufälligen Oeffnungen begünstigen. Aus diesem Grunde muss man um so mehr darauf bedacht sein, zu grossen Querschnitt zu vermeiden.

Ein sehr geringer Querschnitt wäre in dieser Beziehung günstig; allein er darf nicht so gering sein, dass Erwärmung und Luftwechsel darunter leiden.

Die hier zu berücksichtigenden Umstände sind oft so complicirt

und veränderlich, dass es schwierig ist, mit Sicherheit die besten Verhältnisse durch Rechnung zu finden. Die praktische Schätzung genügt aber noch weniger, und die Regel von der Gleichheit der Oeffnungen darf keineswegs als eine allgemein gültige angesehen werden. In einigen Fällen ist grössere, in anderen kleinere Weite zweckmässiger.

Die Luftströmungen im Zuleitungs- und Ableitungskanal beeinflussen einander zwar gegenseitig in den auf gewöhnliche Art geschlossenen Räumen, aber nicht in dem Grade, dass die Hemmung der einen Strömung auch das Aufhören der andern veranlassen würde; denn die zufälligen Oeffnungen gestatten sowohl das Ausfliessen wie das Einfliessen der Luft. Um die Rechnung mit möglichster Sicherheit einer guten Leistung anzustellen, thut man gut so zu rechnen, als ob die Fenster des Zimmers offen wären, oder die Aussenmauer nicht vorhanden wäre. Wie alsdann bei Berechnung des Zuleitungskanals der Ableitungskanal unberücksichtigt bleibt, so lässt man auch bei Berechnung des Ableitungskanals den Zuleitungskanal unberücksichtigt, nimmt also an, der die Luftströmung im Ableitungskanal veranlassende Ueberdruck werde an der Zimmermündung dieses Kanals durch die Luft der freien Atmosphäre ausgeübt.

In der hier geltenden Gleichung der theoretischen Geschwindigkeit der warmen Luft, nämlich

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}},$$

wobei die Druckhöhe H der verticale Abstand des Mittelpunkts der Kanalmündung im Zimmer von der oberen Ausflussmündung ist, wird also für t die Temperatur der Luft in der freien Atmosphäre gesetzt, für T die mittlere Temperatur in der aufwärtsgerichteten Fortsetzung des Ableitungskanals.

Um die Rechnung für ungünstige Umstände anzustellen, wird man Temperaturen zu Grunde legen, welche bei sehr geringem Heizbedürfniss vorkommen. Man mag die Aussentemperatur $t = 10^0$ C. setzen. Die Temperatur T wird $= 15^0$ C. zu setzen sein, wenn der Ableitungskanal für sich bis auf den Dachraum oder über das Dach geführt wird, dagegen $= 30^0$ C., wenn er in den Schornstein des Mantelofens mündet. Die Temperaturdifferenz $(T - t)$ ist im ersteren Falle $(15 - 10) = 5^0$ im anderen $(30 - 10) = 20^0$, also viermal so gross, woraus eine ungefähr doppelt so grosse Geschwindigkeit des Luftabflusses, also eine halb so grosse Oeffnung sich ergeben würde. Dazwischen können noch verschiedene Werthe liegen, sowie viel grössere und auch kleinere vorkommen, was für jeden Sonderfall in Erwägung zu ziehen ist.

Eine vorzügliche Einrichtung besteht darin, dass man als Fortsetzung des Ableitungskanals einen reichlich weiten Ventilationsschornstein baut, in dessen Mitte ein gusseiserner Schornstein als Fortsetzung der Rauchröhre des Mantelofens emporgeführt wird. Die nothwendigen Dimensionen des Ventilationsschornsteins und des Ableitungskanals lassen sich mit Rücksicht auf das Ventilationsquantum nach den angegebenen Formeln berechnen. (§. 83, 166 ff.)

In neuerer Zeit sind einige Ventilationsöfen construirt und zum Theil patentirt worden, für welche als wesentliche Eigenthümlichkeit und besonderer Vorzug geltend gemacht wird, dass der Ofen nicht nur reine Luft zuführe, sondern auch die schlechte Luft abführe. Der Luftableitungskanal bildet nämlich dabei einen Bestandtheil des Ofens, und die abzuführende Luft wird darin erwärmt, bevor sie in den Abzugsschacht gelangt. Solche Vorwärmung ist von einigem Nutzen, wenn der Abzugsschacht kalt liegt und nicht auf andere Weise erwärmt wird, was jedoch ein in seltener Weise ungüngstiger Fall wäre. Wird die abfliessende Zimmerluft in einen warmen Schacht geführt, in einen gewöhnlichen aber hinreichend weiten Schornstein, oder in einen Ventilationsschornstein, welcher durch die Rauchröhre oder durch Gas erwärmt wird oder auch nur zwischen warmen Schornsteinen liegt, so ist jene Vorwärmung unwesentlich, da die Luftströmung doch nur der Quadratwurzel der Temperaturdifferenz proportional ist. Zum Nachtheile jener Einrichtung aber lässt sich mehr sagen. Die Einrichtung wird complicirter und kostspieliger; ferner hat man es weniger in seiner Gewalt den Querschnitt des Ableitungskanals dem speciellen Bedürfniss anzupassen, wenn dieser innerhalb des Mantels oder gar innerhalb des Ofens angebracht wird, als wenn man an irgend einer andern Stelle den Ableitungskanal besonders anlegt. Bei den erwähnten Ofenconstructionen sind gewöhnlich die Querschnitte der Zuleitungskanäle sowohl wie jene der Ableitungskanäle für ausgiebige Ventilation zu klein. Endlich wird dabei ein grosser Theil der Wärme, die besser im Zimmer benützt würde, unnöthiger Weise dem in der Regel schon überreichlich erwärmten Schornstein zugeführt, also Brennmaterial verschwendet, oder ungenügend geheizt.

Ich selbst habe vor etwa zwanzig Jahren meine ersten Mantelöfen mit einem im Mantel hinter dem Ofen emporgeführten Ableitungskanal von Eisenblech ausführen lassen, bin aber später aus den angegebenen Gründen davon abgegangen.

11. Müssen die Ableitungsöffnungen durchaus unmittelbar am Fussboden angebracht werden?

Diese Frage, zu einseitig aufgefasst und zu allgemein beantwortet, hat wohl die meisten Kämpfe auf dem Felde der Ventilation veranlasst, in der Literatur sowohl wie in der Praxis. Und doch ist die Sache ziemlich einfach. Jeder hat in dem einen oder anderen Falle Recht, je nachdem man eine von den verschiedenen Benützungsweisen der Räume oder eines von den verschiedenen Ventilationssystemen voraussetzt. In einem Ballsaale oder in einer durch viele Gasflammen beleuchteten Abendschule die schlechte Luft unten abführen zu wollen, das wäre verkehrt; allein bei den hier geltenden Voraussetzungen ist nur dann der Zweck zu erreichen, wenn die Ableitungsöffnung, als der Anfang des weiter emporgeführten Ableitungskanales, am Boden angebracht wird.

Bei jeder anderen Lage der Ableitungsöffnung, muss die kälteste, am längsten im Raume vorhandene und folglich schlechteste Luft im Raume zurückbleiben, kann nur einigermassen durch Vermischung mit besserer Luft in Folge zufälliger Bewegungen und durch Diffusion der verschiedenen in der Luft enthaltenen Gase verbessert werden. Ein vollständiger Luftaustausch aber ist hiebei nicht möglich, es sei denn, dass man von Zeit zu Zeit die Zimmerthür offen lässt, welche Massregel wohl bei einer rationellen Ventilationsanlage auszuschliessen ist.

Durch einen etwa von der Decke ausgehenden Ableitungskanal würde, wie schon aus der Betrachtung des ähnlichen Falles bei der zehnten Frage hervorgeht, fast alle reine warme Luft, welche durch den Mantel in das Zimmer kommt, sofort entweichen, ohne im Zimmer benützt worden zu sein.

Wenn man in einem nicht ventilirten bewohnten Zimmer etwas mehr Kohlensäure an der Decke als am Fussboden findet, so ist die Erklärung hiefür sehr nahe liegend, und es wird einleuchten, dass man daraus für die Beantwortung der vorliegenden Frage keinen Schluss ziehen kann. Wenn man aber bei der hier beschriebenen Ventilationsmethode die Luftschicht an der Decke mehr mit Kohlensäure beladen findet als eine Luftschicht in der Nähe des Fussbodens*), so sind ohne Zweifel (voraus-

---

*) So wurden z. B. auffallender Weise bei solcher Ventilationsheizung in einem mit fünf Wöchnerinnen und vier Neugebornen belegten Saale des neuen Gebärhauses zu München in 1000 Volumtheilen Luft 15 cm über dem Fussboden nur 0,38 und 0,39 Theile Kohlensäure gefunden, 60 cm unter der Decke dagegen 0,68 und 0,74 Kohlensäure. — S. Pettenkofer, Luftwechsel in Wohngebäuden. Seite 25.

gesetzt, dass die Ventilationsheizung richtig und gut im Gange ist und nicht vielleicht wegen warmer Witterung gar nicht geheizt wird) bedeutende Mängel an der Einrichtung vorhanden.

Wahrscheinlich ist dann die obere Mündung des Mantels so gross, dass eine Gegenströmung von oben herab stattfindet, wodurch die Luft gerade aus jener Höhe, wo sich zunächst die Producte der Respiration und Perspiration ausbreiten, an den Ofen zur Erwärmung gelangt, und dann anstatt der reinen warmen Luft, oder auch mit dieser vermischt, die oberen Luftschichten einnimmt; vielleicht geschieht ähnliche Vermischung in Folge dessen, dass der Ofenmantel wegen ungeeigneter Construction zu heiss geworden ist, die schlechtere Zimmerluft an den Aussenflächen des Mantels bedeutend erwärmt wird;

vielleicht ist auch der Querschnitt des Zuleitungskanales, beziehungsweise die Zuleitungsöffnung, zu klein im Verhältniss zum Querschnitt des Ableitungskanales, oder es ist sonst der Zufluss der Luft aus dem Freien in den Mantel erschwert, dagegen der Zufluss nicht vorgewärmter Luft in das Zimmer auf anderen Wegen begünstigt, so dass sich am Boden eine reine Luftschicht befindet, welche durch die zufälligen Oeffnungen in das Zimmer eingedrungen ist und als specifisch schwerere Luft die unteren Schichten eingenommen hat, ohne vorher durch die oberen Theile des Zimmers gegangen zu sein;

vielleicht gelangt sogar, wenn etwa zwei bewohnte Räume durch gewisse Kanäle in fehlerhafter Weise communiciren, die schlechteste Luft des einen Raumes in den andern, und zwar durch den Mantel auf jenem Wege, wo nur reine Luft einfliessen sollte u. s. w.

12. Genügen immer die vorhandenen Schornsteine zum Zwecke der Ventilationsheizung?

Die jetzt überall zur Ausführung kommenden engen russischen Schornsteine genügen zwar für die Ventilation bei gewöhnlichen nicht überfüllten Wohnräumen, nicht aber bei solchen Räumen, die gleichzeitig von vielen Personen benützt werden, zuweilen sogar überfüllt sind, wie Schulen, Kasernen u. dgl. Die Berechnung wird hierüber in jedem speciellen Falle sicheren Aufschluss geben.

Bei älteren Häusern sind zuweilen steigbare Schornsteine vorhanden, die sich zweckmässig benützen lassen. In jedem Falle soll der Schornsteinquerschnitt an engster Stelle etwas grösser sein als der berechnete Querschnitt des Ableitungskanales; denn im anderen Falle wird, wenn die Ventilation in Gang gesetzt ist, der Zug für den Ofen allzu sehr geschwächt. Wollte man an einem Schornstein eine Venti-

lationsöffnung anbringen, welche ebenso gross ist, wie der Querschnitt des Schornsteins, so würde der Zug der in diesen Schornstein mündenden Feuerungsanlagen fast gänzlich aufgehoben werden.

Häufig ist die Ausführung eines hinreichend weiten Ventilationsschornsteins im Dachraume leicht möglich, aber in den Stockwerken mit bedeutenden baulichen Schwierigkeiten verknüpft. Man kann diese Schwierigkeiten wesentlich mindern, indem man den Ventilationskanal vertical oder schräg bis auf den Dachboden führt, ihn erst da in den Schornstein einmünden lässt und von dort den Schornstein mit der für die Ventilation nöthigen Erweiterung emporführt.

Letztere Einrichtung empfiehlt sich hauptsächlich für die Ventilationsheizung zweier neben einander liegenden Zimmer mit Benützung desselben Schornsteins, da auf erwähnte Art die ausserdem mit der Ventilationsheizung leicht verknüpfte störende Mittheilung des Schalles aus einem Zimmer in das andere am sichersten ohne zu grosse Verminderung des Ventilationseffectes verhütet werden kann.

Wegen der grösseren Weite der Ventilationsschornsteine, sowie wegen der durch die abziehende kältere Zimmerluft veranlassten Abkühlung solcher Schornsteine können die Zustände der Atmosphäre, namentlich Wind und Regen, sehr nachtheilig auf die Ventilation und Heizung einwirken, wenn die obere Schornsteinmündung nicht gehörig geschützt ist. Desshalb sind für Ventilationsschornsteine zweckmässige Hüte, sogenannte Rauch- und Luftsauger (§. 130), welche die Schornsteinmündung in keinem Falle bedeutend verengen dürfen, ganz besonders zu empfehlen.

Wo trotz der Anwendung solcher Schutzvorrichtungen in Folge ausnahmsweise ungünstiger Situationsverhältnisse oder ungenügender Erwärmung des Abzugsschachtes Rückströmungen vorkommen, und man solchen nicht durch stärkere Erwärmung des Schachtes, etwa durch Anwendung von Gasflammen, begegnen will oder kann, sind leichte Ventile oder Klappen von Taffet, Glimmer u. dgl. am Platze, welche durch den Ueberdruck in der Richtung des Abzugs geöffnet, durch den umgekehrten Ueberdruck dagegen geschlossen werden. Wo solche Klappen nicht nothwendig sind, bleiben sie besser fort, weil sie Verluste an Querschnitt und lebendiger Kraft herbeiführen.

Schlussbemerkungen über Mantelofenheizung.

Es ist von Wichtigkeit zu erwähnen, dass für das gute Gelingen der Heizung und Ventilation mittels des Mantelofens ein sehr dichter Schluss der Fenster ein hauptsächliches Erforderniss ist, bei schlecht

schliessenden Fenstern desshalb durch Anschaffung von Vorfenstern der Effect so ausserordentlich gehoben werden kann, dass sehr bald die Kosten der Vorfenster am Feuerungsmaterial erspart werden.

Dieses gilt bei der in Rede stehenden Mantelofenheizung mit und ohne Ventilation in weit höherem Grade als bei der gewöhnlichen Ofenheizung ohne Ventilationseinrichtung, wo überdiess ein sehr dichter Schluss der Zimmer in der Regel gar nicht zu empfehlen ist wegen der damit verknüpften Verminderung des Luftaustausches durch die zufälligen Oeffnungen. Solcher Luftaustausch bleibt immerhin wünschenswerth, wo keine besondere Ventilationseinrichtung besteht.

Zum Schlusse mag noch beigefügt werden, dass, wie die Erfahrung mehrfach gezeigt hat, die für Circulation und Ventilation eingerichteten Mantelöfen zuweilen verkehrt behandelt werden, wesshalb es in vielen Fällen rathsam ist, die Circulationseinrichtung ganz wegzulassen, so dass nur mit Lufterneuerung geheizt wird; ferner dass man die Mantelöfen auch zur Einführung kälterer Aussenluft benützen kann, demnach als Lufteinlassgehäuse oder Lufteinströmsäulen, von welchen weiter oben (§. 139, 151) die Rede war, für die sogenannte Sommerventilation, nach deren Princip auch im Winter zu ventiliren ist, wenn es in einem Zimmer zu warm geworden. Es ist aber alsdann der Luftabfluss in der Nähe der Decke zu bewerkstelligen. Man lasse desshalb an dem Ableitungsschacht oder Ventilationsschornstein auch in der Nähe der Zimmerdecke eine entsprechende Oeffnung anbringen, welche jedoch während der eigentlichen Winterventilation gut geschlossen sein muss, weil die Erwärmung sowohl wie die Luftverbesserung in der unteren Zimmerhälfte in dem Masse vermindert würde, als oben die wärmste, reinste Luft entweichen kann.

Nicht eben so wichtig ist das Schliessen der unteren Abzugsmündung bei Benützung der oberen; denn es fliesst nur wenig Luft unten in den Kanal, so lange die wärmste Luft des Zimmers oben in denselben einströmt, vorausgesetzt, dass diese obere Oeffnung der Kanalweite entspricht.

Man hat sogar empfohlen, die untere Mündung stets offen zu lassen, eine Schliessvorrichtung gar nicht daran anzubringen, diese Mündung auch so reichlich gross zu machen, dass beständig durch die Mauerporen Luft in das Zimmer einfliessen müsse und der umgekehrte Luftdurchgang verhindert werde, bei welchem die Wände als Filter die organischen Ausscheidungsstoffe der Respiration und Perspiration zurückhalten, welche alsdann die Luft immer mehr verderben würden.

Damit kann ich mich keineswegs einverstanden erklären. Ist über-

haupt, wie bei der Sommerventilation, der Fall gegeben, dass die schlechteste Luft als die wärmste des Zimmers oben abgeleitet werden muss, der Luftwechsel in aufsteigender Richtung vor sich geht und die eingeführte reine Luft die kälteste ist, so ist es dem Zwecke zuwider, diese reinste Luft auch nur theilweise schon unten entweichen zu lassen. Ferner bewirken übergrosse Querschnitte der Abzugsöffnungen und Kanäle unangenehmen Zug an den Fenstern, sowie das unwillkommene Eindringen von Luft aus benachbarten Räumen; und endlich glaube ich nicht, dass die porösen Wände wie Filter die schädlichsten Substanzen, die organischen Exhalations- und Perspirationsproducte festhalten. Diese sind wie Luft, Kohlensäure und Wasserdampf gasförmig, dringen wie diese und mit diesen zugleich durch die Wände. Allerdings können sie mit dem sich niederschlagenden Wassergas längere Zeit festgehalten werden, allein in den oberen wärmeren Theilen der Wände, wo vorzugsweise der Luftdurchgang von innen nach aussen stattfindet, erfolgt die Condensation des Wasserdampfs bei guter Ventilation nicht leicht, sicher nicht in bedenklicher Weise.

§. 221.

Der Wolpert'sche Röhrenofen.

Lästige Wahrnehmungen, welche ich wie Andere in Betreff der Beheizung im Allgemeinen und namentlich bei Miethwohnungen machen musste, neben den vergeblichen Bemühungen unter den bekannten Oefen einen in jeder Hinsicht empfehlenswerthen zu finden, haben mich im Jahre 1869 dazu geführt, eine längst vorher genährte Absicht ins Werk zu setzen, nämlich mir selbst einen Ofen zu construiren und mindestens Verbesserungsversuche zu machen.

Die hauptsächlichsten Vorwürfe, welche ich den verschiedenen Stubenöfen zu machen Grund genug hatte, waren:

1) dass einzelne Ofentheile zuweilen in starke Gluth versetzt werden mussten, um genügend zu wärmen. Starkes Glühen soll in jedem Falle schon desshalb vermieden werden, weil durch die Verbrennung des immer in der Luft schwebenden organischen Staubes, wenn es auch nur Sonnenstäubchen sind (S. 277), die Luft verdorben wird;

2) dass man trotz forcirter Heizung und grossen Aufwandes an Brennstoff zeitweise frieren musste;

3) dass zu oft das Feuer ausging und frisch anzumachen war, weil vergessen wurde rechtzeitig nachzulegen, und dass auch sonst die Temperatur des Ofens und damit die des Zimmers grossen Schwankun-

gen unterworfen war, indem der Ofen bei jedesmaligem Aufgeben von Brennmaterial (Steinkohlen) auf einige Zeit eine verhältnissmässig geringe Temperatur hat, welcher dann eine verhältnissmässig hohe folgt.

Diese Umstände einerseits, die mehrfachen entschiedenen Vorzüge gusseiserner Oefen andererseits, veranlassten mich, einen gusseisernen Ofen zu construiren, bei welchem man es vor Allem in seiner Gewalt haben sollte, das Glühen zu vermeiden. Ich construirte den Feuerraum mit doppelten Wänden und doppelten Deckplatten, und zwar so, dass zwischen den beiden Wänden ein weiter Raum blieb, durch welchen Luft zum Feuer strömte, so dass also dieser Luftstrom zuerst zur Abkühlung der beiden Wände und dann, gut vorgewärmt, zur Erreichung einer vollkommneren Verbrennung dienen musste.

Nächste Bedingung der Construction war, dass der Ofen eine aussergewöhnlich grosse und von den heissen Gasen möglicht innig berührte Heizfläche erhalte, um durch Extension zu ersetzen, was an Intensität geopfert werden musste. Sollte eine grosse Heizfläche des Ofens auf einen kleinen Raum beschränkt werden, so konnte dieses wohl auf keine Weise besser geschehen, als durch Vertheilung des Stromes der Feuerluft auf viele enge Röhren nach Art der Sicderöhren der Locomotivkessel. Da der Zweck um so besser erreicht wird, je enger die Röhren und je grösser ihre Anzahl nach Massgabe des speciell zweckdienlichen Gesammtquerschnittes ist, sofern die Röhren nur nicht so eng sind, dass sie zu leicht durch Russ oder Asche verstopft werden und der Fortbewegung der Feuerluft zu grossen Widerstand bieten, glaubte ich noch unter das Mass der Locomotiv-Siederöhren gehen zu dürfen, nämlich auf eine Lichtweite von nur 4 Centimeter. Mehr als zehnjährige Erfahrung hat nun gezeigt, dass diese geringe Weite zulässig, aber wohl auch das Minimum ist.

Ausser der grossen Heizfläche war auch die günstige Wirkung einer constanten Verbrennung zu berücksichtigen, der Ofen musste demnach ein Füllofen sein und für die Aufnahme einer grossen Menge von Brennmaterial eingerichtet werden, welches jedoch weder gleichzeitig zum Brennen kommen, noch eine trockene Destillation (Gasbildung im Füllschacht) erleiden, sondern nur allmählich und gut vorgewärmt aus dem Füllschacht in den eigentlichen Feuerraum gelangen durfte.

Das waren die Hauptbedingungen, welche ich mir bei der Construction meines Ofens vorlegte, soweit derselbe als eigentlicher Heizapparat dienen sollte. Ferner glaubte ich für viele Localverhältnisse auf noch gleichmässigere Erwärmung und noch bessere Circulation der Zimmerluft, als sie durch die angedeutete Construction ermöglicht wird,

endlich auch auf bequeme, ausgiebige und ökonomische Lüftung ohne Herabsetzung der Zimmertemperatur Rücksicht nehmen zu müssen; desshalb fügte ich dem Ofen einen Mantel und einen Ventilationskanal bei. Das Detail der Construction ist aus den Figuren 283 und 284 zu ersehen.

Diese Oefen eignen sich am besten für die Heizung mit Koks, namentlich mit sogenannten Gaskoks, den Rückständen in den Retorten bei der Leuchtgasbereitung aus Steinkohlen.

Der Abschluss des Feuerraumes und Aschenfalles ist nur durch eine einzige, schräg liegende Thürklappe bewerkstelligt, welche durch seitliche Verschiebung eine sehr leichte Regulirung zulässt, und welche, weil auf den Rand des Thürhalses aufgeschliffen, so dicht schliesst, dass nach deren Schluss alsbald das Feuer erlischt, wenn die Ofenfugen gut mit Lehm verstrichen sind, durch diese also die Luft zur Nahrung des Feuers nicht eindringen kann.

Die durch die schmale Oeffnung an der zur Seite geschobenen Thürklappe einströmende Luft vertheilt sich nach allen Richtungen und gelangt vorgewärmt theils durch den aus drehbaren Stäbchen bestehenden schrägen Rost, theils durch den unteren horizontalen Rost, theils durch die auf den drei Seiten des inneren Feuerkastens angebrachten horizontalen Schlitze an das Brennmaterial, wodurch eine sehr vollkommene Verbrennung erreicht wird.

Die Verbrennung kann nur im Feuerraum, unter dem Füllconus, stattfinden, nicht in letzterem selbst, weil derselbe oben durch einen in Sand gedrückten Deckel dicht geschlossen wird und bei normaler Heizung die von unten eindringende Luft ihres Sauerstoffs fast gänzlich beraubt sein wird, sobald sie durch die glühende Koksmasse hindurch in den unteren Theil des Füllconus gelangt. Ueberdies füllt sich letzterer in dem Masse, wie die Koksfüllung in den Feuerraum sinkt, mit Verbrennungsgasen, in welchem eine weitere Verbrennung nicht möglich ist.

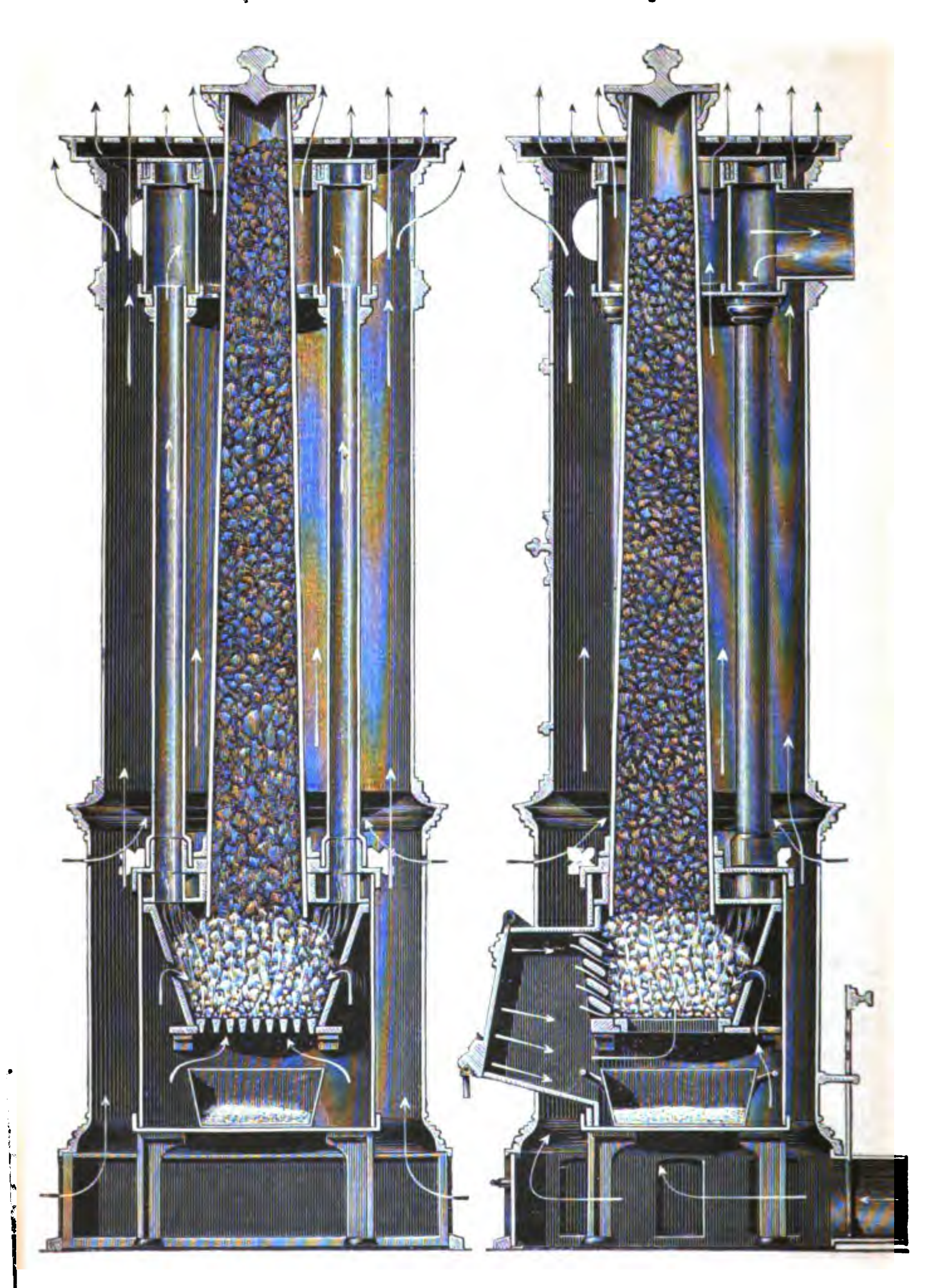
Der Füllconus kommt daher nicht ins Glühen, oder doch nur an seinem unteren Ende, wenn der Deckel nicht gut im Sande liegt, also Luft von oben herab in den Feuerraum fliesst, oder auch, wenn mit vollem Luftzuge geheizt wird, was jedoch bei regelmässigem Heizen vermieden werden kann.

Bei dem fast hermetischen Schlusse der Thürklappe sind weitere Regulirvorrichtungen und die gefährlichen Ofenklappen überflüssig.

Die Feuerluft gelangt durch 8, 12 oder 16 Röhren von 80 bis 100 Centimeter Höhe aufwärts in einen Sammelkasten und von da in die Rauchröhre.

Der Sammelkasten ist ringförmig, so dass die heisse Luft, welche

Fig. 283. Fig. 284.



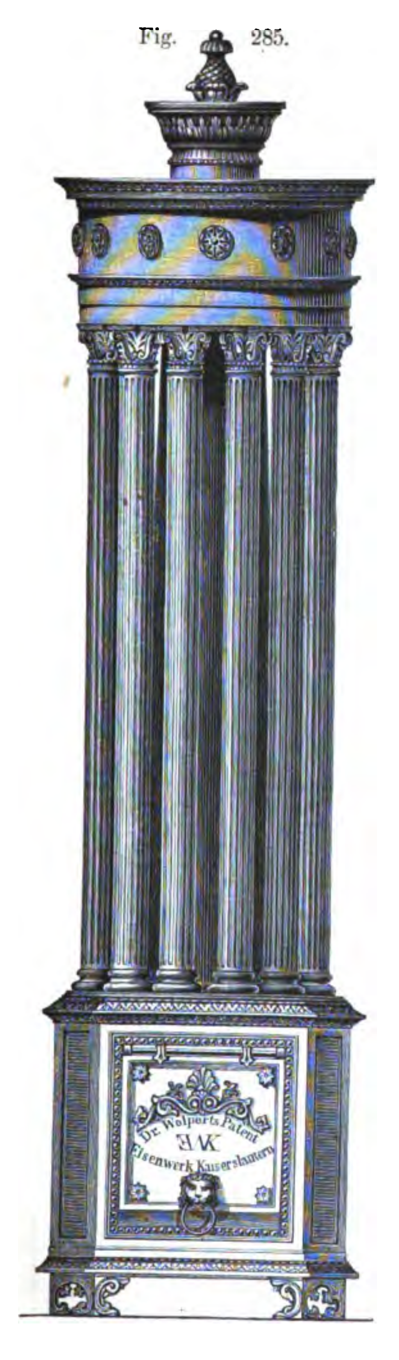


Fig. 285.

zwischen dem Füllconus und den Heizröhren aufsteigt, auch ungehindert weiter vertical emporströmen kann. Die untere Platte des Sammelkastens ist mit Vorsprüngen nach Innen, Zungen oder Nasen, versehen, welche bis an den Füllconus reichen, damit die Stabilität desselben gesichert wird.

Das Vorerwähnte gilt für den Röhrenofen, wie solcher im Massstab 1 : 10 in einfachster Ausführung bei Fig. 283 und 284 innerhalb eines Mantels sichtbar, ferner zur Benützung ohne Mantel mit reicherer Ausbildung durch Fig. 285 dargestellt ist. Bei dem Mantel des Röhrenofens sind kleine Oeffnungen noch über der Höhe des Heizkastens angebracht, um dort noch einmal direct kältere Zimmerluft auf die heissesten Stellen des Ofens zu führen und den mittleren Theilen des Ofens die Wärme mehr zu entziehen, als es nur durch den um den Heizkasten sich erhebenden, bereits erhitzten Luftstrom geschehen könnte. Diese kleinen Oeffnungen dienen an besagter Stelle ferner auch dazu, um sofort das beginnende Glühen bemerken und solches durch engeren Schluss der Thürklappe abstellen zu können.

An der vorderen Seite des Mantels befindet sich eine ziemlich grosse Thür, die in der Regel geschlossen bleiben soll, jedoch geöffnet werden mag, so oft man etwa die strahlende Wärme benützen will.

Die Oeffnungen auf drei Seiten des Mantelsockels sind mit Schiebeplatten versehen und die vierte Seite mit einer absperrbaren rechteckigen Röhre, um mittels eines als Fortsetzung der Röhre durch die Mauer geführten Kanals reine Luft zwischen den Mantel und den Röhrenofen, also vorgewärmt auch in das Zimmer fliessen zu lassen, wie in Fig. 284 angedeutet.

Die Schieber an den drei anderen Mantelseiten bleiben während dieser Luftzuführung geschlossen, weil sonst die reine Luft durch jene Oeffnungen kalt ins Zimmer fliessen und die unteren Schichten, namentlich den Fussboden, zu stark abkühlen würde.

Dass die kalte Luft auch noch durch die nicht schliessbaren Oeffnungen des Mantels über dem Heizkasten in das Zimmer gelangen würde, hat man, wenn der Ofen einigermassen warm ist, nicht zu befürchten, da die kalte Luft, während sie auf jene Höhe emporgelangt, so weit erwärmt wird, dass sie in Folge ihres geringeren specifischen Gewichtes noch vollends emporgehoben wird.

Es ist hier in Erinnerung zu bringen, dass die erwähnte Zuführung reiner erwärmter Luft weder eine gleichmässige Heizung noch einen vollständigen Luftwechsel gewähren kann, wenn nicht zugleich die kältere und schlechtere Zimmerluft in entsprechender Menge beseitigt wird. Der Luftabzug durch die Feuerung genügt nur, wo keine bedeutende Luftverschlechterung stattfindet, also auch nur wenig reine Luft zuzuführen ist, nämlich in Zimmern, wo sich nur wenige Personen unter normalen Umständen aufhalten. Ausserdem ist es nothwendig, dass man an irgend einer Stelle des Zimmers unmittelbar am Fussboden einen Abzugskanal anbringt, wie bei Besprechung des Mantelofens (§. 220) angegeben.

Das Aufsetzen des Ofens ist keineswegs schwierig, erfordert jedoch einige Aufmerksamkeit. Alle Theile des Mantels können ohne Lehmverstrich zusammengesetzt werden; bei allen Theilen des Röhrenofens dagegen ist dichter Fugenverstrich nothwendig. Die obere Platte des Sammelkastens und der Deckel des Füllrohres werden nur in reinen trockenen Sand gelegt, nachdem auf den Boden der Rinne etwas Schlackenwolle gelegt ist, damit nicht durch heftigen Zug der Sand in den Ofen gerissen wird. Diese Ausfüllung soll jedenfalls dem ersten Einheizen vorausgehen, wenn man nicht durch Rauch belästigt sein will.

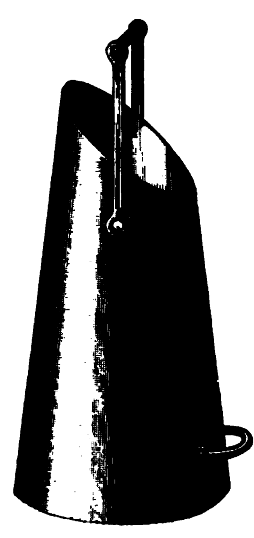
Die Behandlung des Ofens, Koksfeuerung vorausgesetzt, ist folgende:

1) Beim Anmachen des Feuers nimmt man die zwei oder drei unteren Stäbchen des schrägen Rostes heraus, füllt den Feuerraum vollständig mit kleingemachtem trockenen Holze aus, legt die Roststäbchen

bis auf das unterste wieder ein und schüttet Koks von oben in die Füllröhre. Nachdem man letztere wieder dicht geschlossen, zündet man das Holz im Feuerraume an und legt dann auch das untere Roststäbchen wieder ein.

2) So oft man am heissen Ofen, etwa um Brennmaterial nachzufüllen, den Deckel der Füllröhre öffnet, soll die Thürklappe geschlossen sein, damit nicht Verbrennungsgase in das Zimmer gelangen.

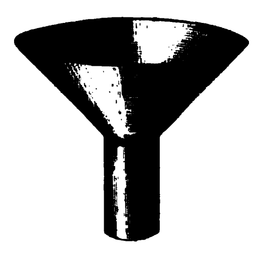
Fig. 286.

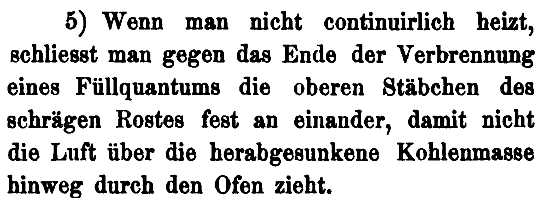


3) Die Koks sollen gut zerkleinert werden, am besten auf die Grösse von Wallnüssen.

4) Die Füllschachtbüchse halte man immer mit reinem Sande gefüllt und frei von Koksstückchen, Holzspänen u. dgl. Desshalb soll man beim Auffüllen immer die Füllkanne (Fig. 286) und den Fülltrichter (Fig. 287) benützen und soll, wenn in letzteren mehr geschüttet wurde, als die Füllröhre fasst, das Ueberschüssige wieder mit der Hand aus dem Trichter in die Kanne zurückbringen, ehe man den Trichter aushebt. Diese Gegenstände sind, wie die Oefen selbst, im Massstab 1 : 10 dargestellt, um das gegenseitige Grössenverhältniss vor Augen zu führen.

Fig. 287.





5) Wenn man nicht continuirlich heizt, schliesst man gegen das Ende der Verbrennung eines Füllquantums die oberen Stäbchen des schrägen Rostes fest an einander, damit nicht die Luft über die herabgesunkene Kohlenmasse hinweg durch den Ofen zieht.

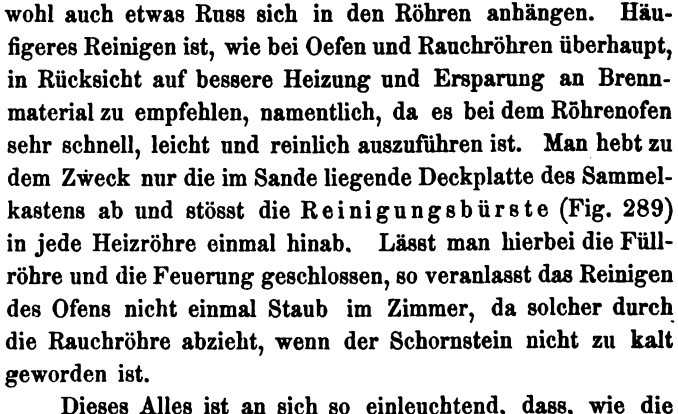
6) Will man ein ziemlich starkes Feuer unterhalten, oder eine schwache Gluth rascher anfachen, als es allein durch die Regulirung des Luftzuges geschieht, so reinigt man von Zeit zu Zeit, etwa alle drei Stunden, den horizontalen Rost von Asche. Dieses geschieht am leichtesten dadurch, dass man die Schürgabel (Rostgabel, Fig. 288) unmittelbar über dem horizontalen Rost einschiebt und sie hin und her rüttelt.

7) Um Schlacken aus dem Feuerraum zu entfernen, ohne das Feuer ausgehen zu lassen, steckt man die Rostgabel über dem obersten oder zweiten Stäbchen des schrägen Rostes ein, hindert dadurch das Brenn-

material über den Schlacken am Herabfallen, und nimmt die unteren Roststäbchen, dann die Schlacken mit der Feuerzange und dem Feuerhaken heraus.

8) Das **Reinigen** des Ofens ist beim Koksbrande nur sehr selten nöthig, immerhin zwei- oder dreimal jährlich, da allmählich Asche und wohl auch etwas Russ sich in den Röhren anhängen. Häufigeres Reinigen ist, wie bei Oefen und Rauchröhren überhaupt, in Rücksicht auf bessere Heizung und Ersparung an Brennmaterial zu empfehlen, namentlich, da es bei dem Röhrenofen sehr schnell, leicht und reinlich auszuführen ist. Man hebt zu dem Zweck nur die im Sande liegende Deckplatte des Sammelkastens ab und stösst die **Reinigungsbürste** (Fig. 289) in jede Heizröhre einmal hinab. Lässt man hierbei die Füllröhre und die Feuerung geschlossen, so veranlasst das Reinigen des Ofens nicht einmal Staub im Zimmer, da solcher durch die Rauchröhre abzieht, wenn der Schornstein nicht zu kalt geworden ist.

Fig. 288.



Dieses Alles ist an sich so einleuchtend, dass, wie die Erfahrung mehrfach gezeigt hat, aufmerksames und williges Dienstpersonal sich schnell in die richtige Behandlung findet. Ich habe einen solchen Mantel-Röhrenofen, jedoch ohne Ventilationskanal in einer Miethwohnung im Winter 1870—71 erprobt. Bei der stärksten Kälte heizte ich zwei Zimmer von zusammen 150 cbm continuirlich Tag und Nacht auf 18 bis 20° C. mit höchstens 20 kg Koks täglich, dann bei mittlerer Wintertemperatur, etwas über 0°, mit ungefähr 10 kg.

In der königlichen Industrieschule zu Kaiserslautern, wo einige dieser Oefen jetzt im elften Winter im Gebrauch sind, ist der durchschnittliche Koksbedarf pro 100 cbm Raum täglich ungefähr 6 kg. Es ist von Interesse zu erwähnen, dass sich daselbst der in Fig. 285 dargestellte Ofen mit 12 Heizröhren wirksamer zeigt, als ein grösserer mit 16 längeren Heizröhren. Dieses erklärt sich daraus, dass bei dem ersteren Ofen die äussere Heizfläche durch Cannelirungen der als Säulen ausgebildeten Heizröhren und durch andere Verzierungen bedeutend vermehrt ist, während der grössere Ofen einfache glatte Oberflächen hat. In einem Lehrsaale von 10,30 m Länge, 7,40 m Breite, 3,75 m Höhe, also von 286 cbm Rauminhalt ohne Einrechnung der Fensternischen, mit 2 Fenstern gegen Norden und 4 gegen Westen hat sich der verzierte Ofen immer als ausreichend erwiesen. In einem grösseren Saale, welcher 2 Fenster gegen Norden und 6 gegen Osten hat, 16,75 m lang, 7 m

breit und 3,75 m hoch ist, also ohne Fensternischen 440 cbm Raum enthält, ist ein gleicher verzierter Ofen mit 12 und ein grösserer glatter mit 16 Heizröhren aufgestellt. Die Vergleichung durch abwechselnde Heizung hat sich zu Gunsten des kleineren Ofens herausgestellt, und es wurde in den gelinden Wintern der letzten Jahre nur der kleinere Ofen benützt; in diesem ausnahmsweise strengen Winter (December 1879) wurde an den kältesten Tagen mit beiden Oefen geheizt. Die Temperatur des Saales ist immer eine angenehme, über Kälte wurde daselbst niemals geklagt, während es anderwärts in Schulen vielfach vorgekommen ist.

Fig. 289.

Ueber diese Oefen sind mir auch von anderen Orten lobende Mittheilungen zugegangen, und bei den von den Professoren Dr. W. v. Bezold und Dr. E. Voit über die Wärmevertheilung in geheizten Räumen angestellten Untersuchungen haben sie die besten Resultate geliefert*).

Trotz solcher günstigen Ergebnisse empfehle ich diese Röhrenöfen nicht, und ich bespreche sie hier nur, um daraus nützliche Schlüsse ziehen zu lassen. Obgleich sie sich in angegebener Weise unter meiner Controle und auch an einigen anderen Orten bewährt haben und noch bewähren, obgleich auch jeder Sachkundige sie als gut anerkennen wird und obgleich in Vorträgen über Pyrotechnik an einer polytechnischen Hochschule dieses Ofensystem als das rationellste bezeichnet worden ist, muss ich bemerken, dass dem Ofen ein Haupterforderniss für den allgemeineren Gebrauch fehlt, nämlich die Einfachheit. Er besteht aus zu vielen Theilen, ist zu complicirt, wird desshalb nicht immer gut mit gehörig gedichteten Fugen aufgesetzt, und noch seltener wird er richtig behandelt. Zu häufig fehlt es dem Dienstpersonal an Aufmerksamkeit und gutem Willen, eine gegebene Heizinstruction zu befolgen. Manchem ist es zu beschwerlich auf einen Stuhl oder auf ein Treppchen zu steigen, um den Ofen zu füllen; die Koks werden nicht zerkleinert, sondern anstatt in nussgrossen Stücken mitunter in Griesform, mitunter auch in Stücken von solcher Grösse eingefüllt, dass sie in der Füllröhre stecken bleiben, indem sich einige gewölbartig gegen einander klemmen. Die Sandfüllungen werden nicht in Ordnung gehalten und das Reinigen der Röhren wird versäumt.

*) Zeitschrift des bayer. Architekten- und Ingenieur-Vereins, 1874, Heft 2 bis 4.

Ein sehr gewöhnlicher Missstand ist der, dass nicht frühzeitig genug eingeheizt wird. Aus der dargestellten Ofenconstruction ist klar, dass immer nur ein kleines Quantum Brennmaterial brennen kann und in Folge dessen der Ofen nicht sehr rasch heizt, wenn man, wie es sein soll, mit mässigem Luftzuge heizt. Nun wird aber die Heizung forcirt, sogar die ganze Heizthür geöffnet und der Ofen so viel wie möglich ins Glühen gebracht. Die Folge davon ist, dass zuerst die innere Deckplatte verbrennt, dann auch die obere, alsbald ebenso der Feuerkasten. Da sich solche Klagen schon in der ersten Zeit der Anfertigung ergeben hatten, liess ich den Feuerkasten und die innere Deckplatte aus feuerfestem Thon anfertigen; allein das hat sich als noch unzweckmässiger herausgestellt. Die Schlacken hafteten oft so fest an diesen Theilen, dass Stücke derselben mit den Schlacken losgerissen wurden und sie alsbald ruinirt waren. Hierauf liess ich die innere Deckplatte fort und wendete nur eine einzige, aber sehr dicke Deckplatte von Gusseisen an. Diese war trotz ihrer bedeutenden Dicke regelmässig bei dem ersten forcirten Heizen gesprungen. Durch einen schon bei den neuen Platten umgelegten schmiedeeisernen Ring habe ich es erreicht, dass das Springen nicht wieder vorgekommen ist, wenigstens nicht bei den von mir beobachteten Oefen, an welchen die so angefertigten Platten jetzt im sechsten Jahre der Benützung noch wie neu zu sein scheinen. Dass immer nach mehreren Jahren die Roste und Feuerkästen erneuert werden müssen, wie bei anderen Oefen, ist, wenn auch nicht kostspielig, doch mit lästigen Störungen verbunden.

Nach diesen Mittheilungen wird man es erklärlich finden, dass die Röhrenöfen an mehreren Orten, wenn man auch im Anfang mit denselben ausserordentlich zufrieden war, nach einiger Zeit beseitigt wurden. Da ihnen aber bedeutende Vorzüge nicht abzusprechen sind, so möchte das Wesentliche der Construction als Grundlage zur Herstellung eines ähnlichen aber *einfacheren* und damit *mehr praktischen* Ofens dienen können.

§. 222.

Der *Wolpert*'sche Strahlenraumofen.

Ein Ofen, welcher sich jedenfalls durch *Einfachheit* auszeichnet, ist der *Strahlenraumofen* (Reichspatent Nr. 2242). Diese Benennung entspricht der Sache und mag überdies zur leichten Unterscheidung von meinem Röhrenofen dienen. Ich habe den Strahlenraumofen vor

vier Jahren construirt, aber erst kürzlich an die Oeffentlichkeit gebracht, nachdem ich mich von seiner Zweckmässigkeit durch Heizversuche mit zwei Oefen sehr verschiedener Grösse und auf verschiedene Weise überzeugt hatte.

Während der Construction des vorbeschriebenen Röhrenofens das Princip weitgehender Ausnützung der Wärme der Verbrennungsgase zu Grunde liegt und durch viele enge Röhren eine sehr grosse indirecte Heizfläche gebildet ist, beruht bei dem Strahlenraum-Ofen die Heizwirkung auf möglichster Ausnützung directer Heizflächen, nämlich solcher, welche durch das anliegende glühende Brennmaterial und hauptsächlich durch die davon ausgehenden Wärmestrahlen erhitzt werden.

In Fig. 290 und 291 ist ein Strahlenraumofen im Massstab $^1/_{20}$ dargestellt und zwar als Mantelofen für ein mittelgrosses Zimmer.

Dass die äussere Gestalt des Heizofens eine zweckmässige ist, weil eine vielfache Berührung den emporfliessenden zu erwärmenden Luftmassen mit den schrägen Aussenflächen und Rippen, und auch — wegen des als Wasserschiff benützbaren überstehenden Daches — noch mit dem Ofendeckel stattfindet, mithin eine gute Entwärmung dieser directen Heizflächen erfolgt, wird sofort zu erkennen sein.

Aber die innere Construction scheint gegen die Bedingungen guter Verbrennung nach den herkömmlichen Anschauungen zu verstossen, nämlich gegen die bereits oben besprochene und mitunter zweckentsprechende Regel, dass man den Brennstoff im Feuerraum vor Abkühlung schützen, desshalb den Feuerraum aus schlechten Wärmeleitern bilden und auch nach oben bedeutende Ausstrahlung verhüten soll. Wie in §. 199 auseinandergesetzt ist, besteht ein vorzügliches Mittel zur Verhütung oder doch Verminderung der nachtheiligen Reduction der Kohlensäure zu Kohlenoxyd (weil eine Hauptbedingung für die Verbindung der Kohlensäure mit mehr Kohlenstoff gleichzeitige Bindung einer grossen Menge freier Wärme ist) in der Verhütung hoher Temperatur im Feuerraum durch rasche Ablieferung eines grossen Theiles der bei der Kohlensäurebildung frei werdenden Wärme nach aussen, also in der Bildung des Feuerraums von Gusseisen ohne inneren besonderen Feuerkasten und von solcher Gestalt, dass die äussere kalte Luft die Wärme aus den Wänden des Feuerraums rasch aufnimmt, ferner auch nach oben hin in der Bildung eines grossen Raumes für die Ausstrahlung der Wärme von den glühenden Kohlen gegen gute Wärmeleiter.

Dass die Dissociation der Verbrennungsproducte (§. 176) wegen nicht sehr hoher Temperatur bei häuslichen Feuerungen unberücksichtigt

bleiben könne, glaube ich nicht annehmen zu dürfen, da ich über den glühenden Koks in einem solchen Ofen Fensterglas und Gusseisen zum Schmelzen gebracht habe, deren Schmelzpunkte zwischen 1050 und

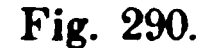


Fig. 290. Fig. 291.

1400° C. liegen (§. 45), also jedenfalls über der Anfangstemperatur der Dissociation.

Aus der Darstellung des Ofens wird man die Bedingungen als erfüllt erkennen, welche die Reduction und auch die Dissociation der Verbrennungsproducte möglichst zu verhindern geeignet sind, sowie diejenigen, unter welchen bei dennoch stattfindender Reduction und Dissociation die Wiederbildung der den grössten calorimetrischen Effect liefernden Verbrennungsproducte im Heizkörper leicht erfolgt.

Man könnte aber vermuthen, die zweckmässige Grenze der dahinzielenden Einrichtungen sei überschritten, und folglich die Hervorbringung und Erhaltung der Entzündungstemperatur zu sehr erschwert. Ich gestehe, gleiches Bedenken hatte ich selbst noch, als ich den ersten Ofen dieser Art ausführen liess; das ist auch der Grund, wesshalb ich erst nach mehreren Jahren, in welchen ich den Ofen auf verschiedene Weise und mit verschiedenen Brennstoffen geprüft habe, mit demselben in die Oeffentlichkeit trete.

Aus meinen Probeheizungen hat sich ergeben, dass weder das Anmachen, noch das Unterhalten des Feuers mit Schwierigkeiten verknüpft ist. Auch entsprach der Heizeffect den theoretischen Voraussetzungen, indem ich bei gleichem Brennstoffverbrauch dieselben und sogar noch grössere Heizeffecte wie bei dem Röhrenofen erzielte, obgleich die Verbrennungsgase wärmer als bei dem Röhrenofen in den Schornstein gelangten.

Die einzelnen Ofentheile kann man, weil die horizontalen Fugenrinnen kreisförmig sind, nach beliebiger Seite drehen, also die Heizung vom Zimmer aus, oder bei verlängertem Schürhals und Füllschacht von aussen bewerkstelligen, auch auf irgend einer Seite des Mantelofens die Rauchröhre anbringen und sie etwa mit Windungen versehen. Jedenfalls empfiehlt sich die Anwendung einer langen Rauchröhre, wodurch man bei reichlicher Grösse des Ofens und der Rauchröhre noch ein Nebenzimmer erwärmen kann, wenn man nach den Benützungsverhältnissen der Räume nicht vorzieht, die Verbrennungsgase sehr warm abziehen zu lassen, um damit einen Ventilationsschornstein stark zu erwärmen.

Das bei dem Strahlenraumofen anzuwendende Feuerungsmaterial betreffend, behaupte ich nicht, einen Ofen erfunden zu haben, welcher sich gleich gut für die Verwendung aller Brennstoffe eigne. Zwar lässt sich jeder Brennstoff in Stücken (nicht in Gries- und Staubform) gut in diesem Ofen brennen, Steinkohlen wie bei den bekannten Meidinger-Oefen mit von oben nach unten fortschreitender Verbrennung, am vortheilhaftesten und angenehmsten jedoch Gaskoks in Nussgrösse, bei grosser Schichthöhe auch dicker. Wenn die Luftzuführung in den Feuerraum, wie in der Zeichnung angedeutet, nur von unten geschieht, wird ein möglichst vollständiges Ausbrennen der Koks erreicht, was bei höherer Luftzuführung wie bei Korbrosten u. dgl. nicht erreichbar ist.

Das Reinigen meines Versuchsofens ist in drei Jahren nicht geschehen und scheint noch nicht nöthig zu sein. An dem oberen Theil dieses Ofens habe ich eine Glimmertafel dicht einlegen lassen, um den

Gang des Feuers und die Berussung zu beobachten. Beim Anmachen des Feuers wurde die Glimmertafel gewöhnlich etwas berusst, bei Steinkohlenfeuerung zuweilen undurchsichtig; durch die später von den glühenden Kohlen ausgehenden Wärmestrahlen wurde aber der Russ wieder verbrannt, die Glimmertafel wieder fast rein, wenigstens wieder durchsichtig. Erfolgt in gleicher Weise die Russverbrennung auch an den Ofenwänden, was nicht unwahrscheinlich ist, so ist das Reinigen des Strahlenraumofens niemals nothwendig.

Entweichung von Rauch und Russ durch die Ofenfugen ist unmöglich; die horizontalen Fugenrinnen werden mit Schlackenwolle ausgelegt und nach Aufsetzung der oberen Theile mit Sand vollgefüllt. Die Schlackenwolle verhindert den bei einfachem Sandschluss vorkommenden Missstand, dass der Sand durch heftigen Zug in den Ofen gerissen wird.

Weitere Erklärungen wird die Zeichnung überflüssig machen.

Schlechte Eigenschaften habe ich an diesem Strahlenraumofen nicht gefunden: als gute Eigenschaften aber dürften folgende zusammen gestellt werden:

1. Einfachheit;
2. Dauerhaftigkeit;
3. entsprechende Billigkeit;
4. geringes Raumbedürfniss;
5. leichte Dichtung der Fugen;
6. dauernde Dichtigkeit;
7. vorzügliche Leistungsfähigkeit bei mässig erhitzten Heizflächen;
8. leichte Verhütung des Glühendwerdens;
9. schnelle Raumerwärmung nach unterbrochener Heizung;
10. möglichstes Vermiedensein von Staub-Ablagerungsflächen;
11. leichte Reinigung, wenn jemals Reinigung nothwendig ist, was sicher nur selten der Fall;
12. einfache und gute Einrichtung für Luftbefeuchtung, wo solche überhaupt in Verbindung mit dem Ofen zweckmässig ist.

Auf mehrfach ausgesprochenen Wunsch habe ich unlängst eine Modification des Strahlenraumofens als Kochofen construirt, wie er in Fig. 292 und 293 im Massstab 1 : 20 dargestellt ist. Die Grundrissform ist bei den kleinsten Oefen kreisrund, bei den grösseren länglichrund.

Auch dieser Ofen hat sich bei den Probeheizungen sehr gut bewährt, indem schon bei dem kleinen kreisrunden mit sehr geringen Brennstoffmengen bei rascher Erwärmung eines Zimmers 4 Liter Wasser in 10 bis 20 Minuten zum Kochen gebracht wurden, nämlich mit Stein-

kohlen in 10 Minuten, mit Koks und Holz in 15 Minuten, mit Torf in 20 Minuten.

Dieser Kochofen entspricht den Bedürfnissen ärmerer Familien, eignet sich auch gut zur Anwendung in Bahnwärterhäusern, Bauhütten,

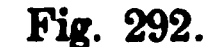


Fig. 292. Fig. 293.



untergeordneten Geschäftsräumen, Werkstätten u. dgl. Man kann ihn natürlich auch mit einem einfachen oder doppelten, gewöhnlichen oder verzierten Mantel umgeben und so auch in besseren Räumen anwenden.

Die Ausführung des patentirten Strahlenraumofens hat das Eisenwerk Kaiserslautern übernommen.

Die Kanalheizung.

§. 223.

Erklärungen und Bemerkungen über die Kanalheizung im Allgemeinen.

Die Einrichtung einer Kanalheizung besteht wesentlich darin, dass unter den Fussböden und mitunter auch in den Mauern Kanäle oder Röhren von Mauerwerk, gebranntem Thon oder Eisen angelegt werden, welche einerseits mit einem Feuerherd oder Ofen, auch einer Heissluftkammer, andererseits mit einem Schornstein in Verbindung stehen. Während Feuergase und heisse Luft die Kanäle durchströmen, werden die Kanalwandungen zu indirecten Heizflächen, und beträchtliche

Theile der Fussböden, beziehungsweise der Zimmerwände werden zu mässig erwärmten, durch Strahlung und Luftberührung emittirend wirkenden Erwärmungsflächen.

Dieses Heizprincip muss in gesundheitlicher Beziehung als ein so vorzügliches bezeichnet werden, dass man bedauern möchte, es fast nur noch in Gewächshäusern und mitunter in Kirchen angewendet zu finden, und dass es der Mühe werth sein wird, seine Anwendung in Wohnräumen wieder anzustreben, jedoch nicht in alter Weise, sondern mit zeitgemässer Vervollkommnung.

Der Hauptvorwurf, welchen man dieser Heizmethode macht, ist der, dass sie allzusehr feuergefährlich sei. Nach glaubwürdigen Ueberlieferungen hat in der That unter der Regierung des Königs Jerome Napoleon die Kanalheizung die Zerstörung des alten Schlosses in Kassel durch Brand veranlasst.

In unserer heutzutage üblichen Bauweise vielstöckiger Häuser mit Verwendung grosser Holzmassen für Balkenlagen, Fussböden und Wände liegt allerdings Begründung genug für den Vorwurf der Feuergefährlichkeit der Kanalheizung, allein man wird auch anders bauen können, ohne unzweckmässig und allzu kostspielig zu bauen.

Dass Fachwerkswände entbehrlich sind, bedarf kaum der Erwähnung, aber auch die Möglichkeit, feuersichere Fussböden von natürlichen oder künstlichen Steinen, wo es auf die Kosten weniger ankommt, aus Marmor, Mosaik, Stuccolustro oder aus matt geschliffenem Gusshartglas, in den oberen wie unteren Stockwerken ohne Gewölbe auszuführen, diese Möglichkeit ist durch die Anwendung von Trägerwellblech gegeben und die Anwendung von Wellblech ist hier um so mehr nahe gelegt, als in dem Wellblech selbst die Heizkanäle vorhanden sind.

Man wird dahin zu trachten haben, dass hauptsächlich die Fussböden und höchstens noch die unteren Theile der Wände durch die Warmluftkanäle erwärmt werden. Die Wände in ganzer Höhe auf diese Art zu erwärmen würde weniger zweckmässig sein, da man hierdurch unmittelbar Wärme in die Luft der oberen Zimmerschichten liefern würde, wo man sie nicht braucht, und weil es eine alte und bewährte Gesundheitsregel ist, den Kopf kühl zu erhalten und die Füsse warm, nicht aber umgekehrt, wie es leider fast bei allen unseren Heizeinrichtungen der Fall ist.

Die Ausstrahlung der Körperwärme gegen zu kalte Wände ist allerdings unbehaglich; allein wenn nur der Fussboden genügend warm ist, so steigt von diesem die warme Luft fortwährend auf und erwärmt

auch die Wände hinreichend. Ueberdies kühlen sich bei täglicher und selbst bei länger unterbrochener Heizung die inneren Mauern nicht vollständig ab, bilden vielmehr auf einige Zeit Wärmereservoire. Immerhin ist auch die Heizung mittels warmer Wände, die Wandheizung, vielen anderen Heizmethoden vorzuziehen.

Steinerne Fussböden in Wohn- und Schlafzimmern werden sich die meisten Personen, gewöhnt an die Fussböden von Holz, als unbehaglich vorstellen; aber in südlichen Ländern hat man ebenfalls in Wohnräumen steinerne Fussböden und bei den Alten waren vermuthlich hölzerne Fussböden überhaupt nicht üblich.

Im schlimmsten Falle könnte man die Fussböden von Steinplatten u. dgl. mit Teppichen belegen, wodurch aber wieder Staub verursacht würde, dessen Beseitigung gerade ein Hauptvorzug jener Fussböden ist. Ein mässig warmer Fussboden von matt geschliffenen Hartglasplatten scheint mir in Bezug auf Sauberkeit, Behaglichkeit und Gesundheit nicht leicht übertroffen zu werden. Uebrigens ist auch bei der Fussbodenheizung die genügend feuersichere Construction eines Holzfussbodens möglich.

Ein anderes Bedenken gegen die Anwendung solcher Fussbodenheizung wird das sein, dass bei dem häufig raschen Wechsel von mildem und sehr kaltem Wetter in unserem Klima die Temperaturregulirung in den Zimmern nicht genügend bewerkstelligt werden könnte. Dieses Bedenken wäre bei der Kanalheizung der antiken Ausführungsweise, wovon der nächste Paragraph berichten soll, vollkommen begründet; dagegen bei Verwendung von Wellblech, welches ein guter Wärmeleiter ist und auch eine im Uebrigen wenig massige Construction der Fussböden ermöglicht, wird sowohl das Anheizen, als auch die Temperaturabnahme in einem erwünschten Grade nach dem Erlöschen des Feuers oder bei schwächerer Feuerung nicht allzu lange Zeit in Anspruch nehmen. Zudem wird man die Ventilation nicht ausser Acht lassen, wird vielmehr die Einrichtung so machen, dass die Heizung von der Ventilation unabhängig ist und dass bei strenger Kälte mit warmer Luft ventilirt wird, bei mildem Wetter mit kälterer Luft, wodurch ein weiteres und zwar vorzügliches Mittel der Temperaturregulirung gegeben ist.

So einfach die Anlage einer Kanalheizung bei Benützung von Wellblech scheinen mag, so bieten sich dabei doch constructive Schwierigkeiten, welche hauptsächlich aus der wegen der vorkommenden bedeutenden Temperaturunterschiede nicht ausser Acht zu lassenden Ausdehnung des Eisens folgen.

Wie solche Schwierigkeiten überwunden werden können, soll bei Besprechung der combinirten Heizsysteme gezeigt werden.

§. 224.

Die antike Boden- und Wandheizung.

Der Fussboden des Wohnraums wie auch verschiedener Räume in Bädern bestand bei den Alten an der Oberfläche gewöhnlich aus einem Estrich von Kalk oder Gips, oft von Mosaik. Diese Massen waren bei der Anlage für Bodenheizung auf grössere Platten von Stein oder gebranntem Thon aufgetragen, welche über einem hohlen Raume von etwa $^2/_3$ Meter Höhe auf kleinen unter dem ganzen Fussboden entsprechend vertheilten Pfeilern ruhten.

Der hohle Raum hiess Hypocaustum, was einen unterhalb liegenden Feuerraum, eine Heizkammer bedeutet. Vor dem Hypocaustum befand sich der Ofen oder Feuerherd, dessen Flammen und Verbrennungsgase in das Hypocaustum geleitet wurden, hier den Fussboden des Zimmers erwärmten, dann durch Kanäle oder Thonröhren in den Mauern, auch in hohlen Wänden, welche durch Verkleidung der Mauern mit abstehenden Thonplatten gebildet waren (camerae duplices), emporgeführt wurden.

In Ueberresten von römischen Bädern hat man enge und weite Thonröhren mit vielen kleinen Seitenöffnungen gefunden, woraus vielleicht zu schliessen ist, dass diese Röhren theilweise als Schornsteine functionirten, welche zugleich die schlechte Luft der Räume, bei Bädern den Wasserdampf, durch die Wandöffnungen ableiteten, theilweise auch zum Einlassen frischer Luft in vielfacher Vertheilung dienten. Die Oeffnungen der Rauchröhren mögen mitunter auch den Zweck gehabt haben, heisse Gase aus den Röhren in die Hohlwände übertreten zu lassen.

Welche dieser Vermuthungen richtig ist, und ob die Alten im Sinne hatten, mit solchen Einrichtungen nicht nur Erwärmung, sondern auch Luftwechsel zu erzielen, wird schwerlich zu entscheiden sein. In den Werken über das Alterthum von Vitruv, Winkelmann, Guhl und Koner, Overbeck, sowie in speciellen Berichten über die Reste römischer Bäder ist zwar mehrfach von der Erwärmung der Fussböden und Wände die Rede, ebenso von Lüftungsöffnungen und auch einzelnen Kaltluftkanälen, doch konnte ich nirgends den Nachweis eines eigentlichen Ventilationssystems finden. Man hatte zuweilen bei den Bädern in den gewölbten Decken oder ziemlich hoch an den Wänden des Cal-

darium s (oder Calidariums, d. h. des warmen Badezimmers) Oeffnungen zum Hinauslassen des Dampfes und zum Einlassen frischer Luft; ferner aus dem Freien nach dem Tepidarium oder lauwarmen Badegemach nahe am Fussboden einen Kanal für Zuleitung kalter Luft; endlich sonst mitunter in den Lichtöffnungen durchbrochene Thonplatten, um einen Luftdurchzug zu gestatten. Dass in dem Frigidarium, dem kalten Bade oder auch dem Abkühlungszimmer für die aus dem warmen Bade Kommenden, irgend eine Vorrichtung für Luftwechsel vorhanden gewesen, finde ich nicht angegeben, wohl aber, dass das Frigidarium durch eine enge Oeffnung in der kegelförmigen Decke erhellt wurde. Diese Oeffnung kann auch für die Lüftung gedient haben, doch waren die eigentlichen Lichtöffnungen in der Regel mit geöltem Leinen, mitunter auch mit Glasscheiben geschlossen.

Die Heizröhren waren an den Wänden oft ohne Oeffnungen, zuweilen trugen sie angearbeitete Thierköpfe, deren Rachen Oeffnungen bildeten, welche mit Stöpseln von Thon oder Metall geschlossen werden konnten. Vermuthlich liess man auf diesem Wege warme Luft in die Zimmer fliessen, nachdem das Feuer erloschen und die Steinmassen des Hypocaustums erhitzt waren. Uebrigens war man gegen Rauch und Kohlendunst nicht sehr empfindlich und hat nicht immer das Erlöschen des Feuers abgewartet. Dafür spricht folgende Stelle des Vitruv: „In Zimmern, welche geheizt werden, müssen die Gesimse glatt sein, damit sie leichter gereinigt werden können; wo kein Gebrauch des Feuers stattfindet, also weder Rauch noch Russ zu fürchten ist, sind sie mit erhabener Arbeit zu verzieren."

Schon in dieser Beziehung könnten wir die antike Kanalheizung bei den heutigen Anforderungen keineswegs als mustergiltig nachahmen. Auch rasche Heizung und Regulirung der Temperatur war dabei nicht möglich. Diese Mängel haben die Alten gleichfalls gekannt. Plinius erwähnt, dass es in der Nähe seines Landhauses Laurentinum Miethbäder gab, und er nennt das eine grosse Bequemlichkeit, wenn wegen schneller Ankunft und kurzen Aufenthaltes es nicht dienlich war, das eigene Bad zu heizen. Ferner findet sich in einem Briefe des Seneca folgende Stelle: „Einer Gluth gleicht die Hitze in den modernen Bädern; man dürfte einen Sklaven, der eines Verbrechens überführt ist, in ein solches Bad sperren, er wäre bestraft."

Die Luftheizung.

§. 225.

Allgemeine Theorie der Luftheizung. Principien verschiedener Luftheizungsapparate.

Als Luftheizung wird zuweilen ausser der im Folgenden so benannten Heizmethode auch die in §. 220 behandelte Heizung mit Mantelöfen bezeichnet, und nicht ganz ohne Grund; man könnte sogar jede Heizung so nennen, da bei einer jeden die Luft erwärmt wird. Es soll aber durch das Wort Luftheizung nicht ausgedrückt werden, dass Luft erwärmt, sondern dass mittels Luft geheizt wird, im Gegensatze zu den Heizmethoden mittels Wärmestrahlung sowohl als mittels heissen Dampfes oder Wassers. Es kommen zwar alle diese Heizmittel in Verbindung mit der Luftheizung vor, allein dann hat man nicht mehr die eigentliche Luftheizung, sondern ein combinirtes Heizsystem.

Ich bezeichne, übereinstimmend mit den meisten Schriftstellern und Technikern, mit dem Namen Luftheizung jene Heizmethode, bei welcher die zu heizenden Räume durch Zuführung einer Luftmasse erwärmt werden, welche vorher in einem anderen verhältmässig kleinen Raume auf sehr hohe Temperatur gebracht worden ist.

Die Theorie der Luftheizung besteht in der wissenschaftlichen Untersuchung und Begründung des genannten Heizverfahrens; sie muss sich aus den physikalischen Eigenschaften der atmosphärischen Luft entwickeln lassen. Die Wirkung eines jeden Apparates für Luftheizung, sowie ganz allgemein einer jeden Feuerungsanlage muss auf Naturerscheinungen zurückzuführen, nach physikalischen Gesetzen zu erklären sein. Welche Hypothesen man den Wärmeerscheinungen zu Grunde legen, für welche Wärmetheorie man sich entscheiden mag, das ist für die Theorie der Luftheizung nicht von Bedeutung. Die physikalischen Gesetze sind nicht Hypothesen wie die Wärmetheorieen.

Ich glaube dieses hier erwähnen zu müssen, weil es mir mehrmals vorgekommen ist, dass sogar in technischen Kreisen behauptet wurde, die Meissner'schen Luftheizungen seien nicht rationell, weil Meissner einer unrichtigen materiellen Wärmetheorie gehuldigt habe.

Ohne mit der Theorie der Luftheizung in Widerspruch gerathen zu müssen, kann man sich für irgend eine der oben §. 36 angedeuteten

Wärmetheorieen entscheiden, oder auch jede Hypothese ausser Acht lassen, mit dem Worte Wärme eine gänzlich unbekannte Ursache des uns Allen wohl bekannten Gefühls, oder auch Nichts weiter als dieses Gefühl selbst, die Wärmeäusserung bezeichnen; denn es bleibt bei einer jeden von diesen Annahmen die Erscheinung dieselbe: dass die Wärme das Volumen der Körper vergrössert — und diese Erscheinung bildet die Basis für die Theorie der Luftheizung.

Da die Volumenvergrösserung der atmosphärischen Luft unter der Einwirkung der Wärme so bedeutend ist, dass eine und dieselbe Luftmasse bei 100° C. etwa $1\frac{1}{3}$ mal soviel Raum einnimmt, als bei 0°, so besitzt ein gewisses Volumen der Luft bei irgend einer Temperatur schon merklich weniger Masse, welche der Erdanziehung wahrnehmbar unterworfen ist, als ein gleiches Volumen der auch nur wenig kälteren Luft. Wenn also die unteren Schichten einer Luftmasse erwärmt werden, so kann weder die kältere Luft, welche stärker von der Erde angezogen wird, über der wärmeren ihren Platz behaupten, noch kann die minder dichte, specifisch leichtere Luftmasse, wenn sie mit jener in unmittelbarer Berührung, nicht durch eine luftdichte und zu schwere Umgebung niedergehalten ist, die tiefere Stelle einnehmen; sie wird, gleichwie eine leere oder nur wenig mit Wasser gefüllte Flasche, welche man geschlossen unter Wasser bringt und dann loslässt, in die Höhe gehoben. Weil die Schichten der ruhigen Luft so gut wie die der tropfbaren Flüssigkeiten in jedem Horizont im Gleichgewicht stehen müssen, und weil, wenn dieses gestört ist, Bewegung eintreten muss, die so lange fortdauert, bis das gestörte Gleichgewicht wieder hergestellt ist, so wird die warme Luft von den benachbarten kälteren, specifisch schwereren Luftmassen verdrängt, in die Höhe gehoben. Diese ersteren schwereren Luftmassen verdrängen die warme Luft von ihrem Platze, weil sie von den nachfolgenden Schichten selbst aus ihrem eigenen Platze gegen die wärmere Luft hin verdrängt werden, und auch diese nachfolgenden Schichten werden nur von wieder anderen verdrängt. So muss eine Luftbewegung in immer grösserer Ausdehnung entstehen, da sich vermöge der bedeutenden Verschiebbarkeit der Luft die Luftmassen aus grossen Entfernungen gegen die Stelle hindrängen, wo der Druck geringer geworden, wo die Bewegung durch die Wärme veranlasst worden ist. Geschieht das Emporströmen der warmen Luft in einem abgeschlossenen Raume, in einem Zimmer, wo dieses Emporströmen alsbald durch die Zimmerdecke gehemmt ist, so muss sich die warme Luft nach dem Gesetze des Gleichgewichts für

sich berührende Flüssigkeiten von verschiedenem specifischen Gewicht in einer horizontalen Schicht dicht unter der Decke ausbreiten, und es muss eine gleiche Schicht der specifisch schwereren kälteren Luft abwärts gedrängt werden.

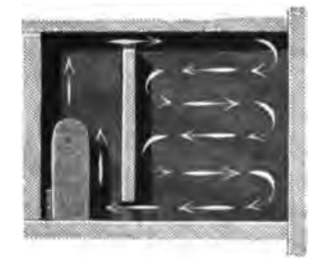
Wird die Erwärmung an einer tieferen Stelle des Raumes noch fortgesetzt, so müssen die früher emporgehobenen Schichten immer weiter abwärts gelangen, indem sie sich an der kälteren Umgebung immer mehr abkühlen. Ein directes Abwärtsfliessen wird jedoch nur an den kalten Wänden und besonders in den Ecken des Zimmers stattfinden, während im grösseren Theile des Zimmers die Luftbewegung Schicht um Schicht in nahezu horizontalen Richtungen vor sich geht.

Einige Beobachtungen mögen diese Vorgänge anschaulich machen. Der Rauch einer Cigarre oder eines Stückes Salpeterpapier u. dgl. wird am heissen Ofen vertical emporgerissen; in der Mitte des Zimmers fliesst er in verschiedenen Höhen nach verschiedenen Richtungen; an den vom Ofen ziemlich entfernten Wänden und besonders in den Ecken des Zimmers fliesst er rasch herab. — Ein Thermometer zeigt einen um so höheren Wärmegrad an, je höher man dasselbe im geheizten Zimmer emporhält.

Lässt man zwischen einem kalten und einem geheizten Raume die Thür beliebig weit offen stehen, so fliesst, wie man sich leicht durch das Gefühl, durch eine Flamme, durch einen rauchenden Körper, durch das Thermometer überzeugt, unter der Thürmitte die kalte Luft nach dem wärmeren Raume, während über der Mitte die Strömung die entgegengesetzte ist. So viel warme Luft übrigens auch auf diese Weise nach dem kalten Raume fliessen mag, so wird doch während der Heizung im nicht unmittelbar geheizten Raume die Luft nie so warm werden, als die Luftmasse, welche im ersten Raume über der Thür sich befindet. Eine gleichmässigere Temperatur ist aber leicht in beiden Räumen zu erzielen, wenn man nur an der Zwischenwand dicht unter der Decke eine oder mehrere Oeffnungen durchschlägt, und ebenso dicht über dem Fussboden für den Fall, dass die Thür geschlossen oder eine solche gar nicht vorhanden ist. Aus dem unmittelbar geheizten Raume verbreitet sich die wärmste Luft durch die Oeffnungen unter der Decke nach dem anliegenden Raume, weil sie aus ersterem von der durch die Oeffnungen am Fussboden dahin einfliessenden kältesten Luft des anderen Raumes verdrängt wird. Etwas wärmer wird der unmittelbar geheizte Raum immerhin bleiben, weil demselben auch die strahlende Wärme des Ofens mitgetheilt wird.

Ist der Raum, welcher den Ofen enthält, nicht weiter benutzt, als nur dazu, die Luft daselbst zu erwärmen und dieselbe erwärmt dem anliegenden Raume zuzuführen, so kann man ersteren Raum passend Ofenkammer oder Heizkammer nennen, kann denselben nach Wunsch oder Bedürfniss verengen, und man hat eine sehr einfache Einrichtung, welche vielfach unter dem Namen Luftheizung ausgeführt worden ist (Fig. 294).

Fig. 294.



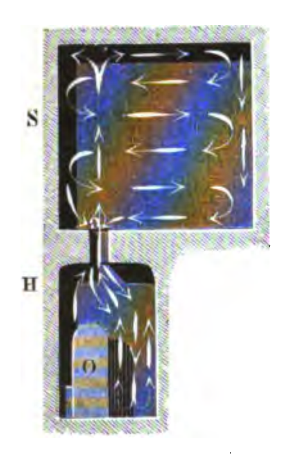
Die vorerwähnten Erscheinungen sind nichts Anderes als ein kleines Bild der riesigen Luftströmungen in der Natur. Auch im Grossen wird die Luft in den stärker erwärmten Gegenden emporgehoben und fliesst in der Höhe über kältere Luftmassen hinweg nach den kälteren Gegenden ab, während tief unter ihr die Luft von der kälteren Gegend der wärmeren zuströmt.

Beobachtungen solcher Erscheiuungen im Grossen oder im Kleinen, schon beim Anzünden und Unterhalten eines jeden Feuers konnten geeignet sein, die ersten Ideen zu einer zweckmässigeren Feuerungsanlage, die Idee zu einer Art Luftheizung zu geben. In der That ist es eine ausgemachte Sache, dass schon die Römer zu der Kaiser Zeiten es verstanden, in ihren prachtvollen Palästen und Bädern durch Kanäle den einzelnen Gemächern die Wärme mitzutheilen, welche in besonderen tiefer liegenden Räumen erzeugt worden war (§. 224). Man muss wohl annehmen, dass solchen Einrichtungen nur die praktische Beobachtung, vielleicht durch einen glücklichen Zufall unterstützt, zu Grunde gelegen. Denn von der Schwere der Luft, von Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung der Luft hatte man in jenen Zeiten keinen Begriff.

In alten Klöstern wurden gewisse Räume dadurch erwärmt, dass man ebenfalls einen anderen Raum heizte und jene Räume mit diesem durch Oeffnungen, bei grösserer Entfernung durch Kanäle in Verbindung brachte. — Sogar in einfachen alten Bauernwohnungen findet man zuweilen nur die Stube des unteren Stockes mit einem Ofen versehen. In der darüberliegenden Stube ist eine Klappe oder ein Schieber am Fussboden über dem Ofen angebracht, um durch Oeffnen desselben die „Wärme“ aus der unteren Stube aufsteigen zu lassen. Denkt man sich wieder diesen unteren Raum nicht weiter benutzt, als nur um die obere Stube zu erwärmen, desshalb verhältnissmässig klein, so hat man eine

von der vorausgehenden verschiedene Einrichtung, die jedoch nach dem allgemein angenommenen Begriffe des Wortes Luftheizung ebenfalls vollständig auf diesen Namen Anspruch machen kann (Figur 295).

Fig. 295.



Die Communication der beiden Luftmassen in der Heizkammer *H* und in der Stube *S* ist hergestellt, sobald man über der Oeffnung *a* die Klappe hebt. Wird nun im Ofen *O* gefeuert, so entsteht aus den oben erklärten Gründen ein Emporströmen der warmen Luft, und wenn die Heizkammer sehr dicht geschlossen ist, so dass man annehmen kann, es finde kein oder ein nur sehr geringer Luftzudrang von aussen in dieselbe statt, so muss das Abwärtsfliessen der kalten Luft aus der Stube zur Heizkammer erfolgen; erwärmt wird diese Luftmenge später wieder in die Höhe gehoben. So muss ein Hin- und Zurückfliessen sämmtlicher Luftschichten, eine Circulation entstehen, die so lange fortdauert, als das Gleichgewicht der einzelnen Schichten gestört wird, so lange die Luft in der Heizkammer wärmer ist, als die unterste Schicht der Zimmerluft, also jedenfalls so lange der Ofen noch Wärme abgibt.

Nun liegt allerdings die Vermuthung nahe, es möchten die Eigenschaften der Ausdehnung und Undurchdringlichkeit des einen Luftstroms, der sich einmal durch die Oeffnung *a* empordrängt, dem anderen Luftstrome nicht gestatten, durch dieselbe horizontale Oeffnung nach entgegengesetzter Richtung seinen Weg zu nehmen; da aber auch die Luft aus der Heizkammer nicht emporfliessen kann, ohne durch eine andere Luftmenge ersetzt zu werden, nachdem einmal die warme Luft das ihrer Temperatur entsprechende Volumen angenommen hat, so werde keine anhaltende Circulation erfolgen.

Diese Vermuthung zu beseitigen, genügt ein sichtbares Beispiel. Nicht mit dem Füllen einer leeren, eigentlich Luft enthaltenden Flasche unter Wasser will ich den hier gegebenen Fall vergleichen, weil das Wasser eine ungefähr 770 mal so schwere Flüssigkeit ist als die Luft, und ich dadurch für den Beweis im Vortheil erscheinen könnte. Man beachte aber folgende Erscheinung: Man stelle eine mit Baumöl gefüllte Flasche unter Wasser. (Die mit Oel gefüllte Flasche darf aber hiebei nicht einen zu engen Hals haben, weil die Capillarattraction die Wirkung der Schwerkraft vollständig oder grossentheils aufheben würde;

diesem Umstande ist zum Theil auch das stossweise Füllen einer Flasche unter Wasser zuzuschreiben, während jedoch im fraglichen Falle bei der Luftströmung eine Capillarattraction nicht in Betracht kommt.) Oeffnet man alsdann den Pfropf, so steigt das Oel auf der einen Seite der Flasche herauf und breitet sich auf der Oberfläche des Wassers horizontal aus, während die Flasche sich vollständig mit Wasser füllt. Bedenkt man nun, dass Oel kaum $^1/_{10}$ leichter ist als das Wasser, diese Differenz der specifischen Gewichte aber bei der Erwärmung der Luft sehr bald erreicht ist, indem heisse Luft (von 100° C.) sogar um $^1/_4$ leichter ist als kalte (von 0°), dass überdies die Adhäsion der beiden tropfbaren Flüssigkeiten an den Gefässwänden und gegenseitig an einander, ferner die Anziehung der einzelnen Massentheilchen unter sich, die Cohäsion, der Verschiebung hinderlich in den Weg treten, welche Eigenschaften bei den elastischflüssigen Körpern allerdings auch theilweise vorhanden sind, aber nur in einem geringen Grade; — so wird man die Möglichkeit, ja physikalische Nothwendigkeit der Luftcirculation im gegebenen Falle nicht mehr bezweifeln können. Zugleich wird man andererseits auch einsehen — und durch eine gewöhnliche, mit Rauch gefüllte Flasche, die man erwärmt, kann man sich noch mehr überzeugen — dass die Geschwindigkeit der Circulation in diesem Falle nicht bedeutend ist; die beiden Luftmengen halten sich bei ihrer Begegnung in der Oeffnung durch Reibung gegenseitig auf, und auch eine bestimmte constante Druckhöhe ist nicht vorhanden, weil sich die beiden Luftmengen in jedem horizontalen Querschnitt ins Gleichgewicht zu setzen suchen, die Theilchen derselben sich von einander trennen, auch gegenseitig vermischen.

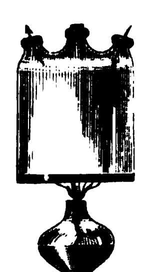
Bei der vorstehenden Einrichtung (Fig. 295) wird ein Theil der Zimmerluft, weil die mehr erwärmte Luft einen grösseren Raum verlangt, durch Thüren und Fenster entweichen, und auf demselben Wege wird ebensoviel frische Luft wieder eindringen, sobald die Zimmerluft beginnt zu erkalten, also ihr Volumen zu vermindern.

Fast immer sucht man zweckmässig mehrere Räume zugleich aus einer Heizkammer zu erwärmen. Principiell muss das Gesagte wie für den Raum S, ebensogut auch für beliebige andere Räume gelten, die man in derselben Weise unter gleichen Verhältnissen mit der Heizkammer in Verbindung angelegt hat. Dennoch ist diese Einrichtung auch schon für zwei Räume, welche mittels einer Heizkammer geheizt werden sollen, unzulässig. Denn es wird, wenn man eine ziemlich gleichmässige Erwärmung der durch die Heizkammer communicirenden Räume verlangt, ein sehr dichter Schluss der Thüren, Fenster

und aller anderen kleinen Oeffnungen in diesen Räumen, ein Schluss, wie er in der Wirklichkeit nicht vorkommen wird, absolut nothwendig, weil ausserdem, wenn man z. B. zwei solche Räume annimmt, sehr leicht von dem einen Raum her nur kalte Luft nach der Heizkammer fliessen und die in der Heizkammer erwärmte Luft ausschliesslich nach dem anderen Raume drängen würde, wo sie durch die verschiedenen Oeffnungen entweichen könnte, wie auf der anderen Seite die äussere Luft durch solche Oeffnungen eindringt.

Füllt man, um dies anschaulich zu machen (Fig. 296), eine Flasche, die in gleicher Höhe zwei Oeffnungen hat, mit Rauch, und stellt alsdann die Flasche auf den warmen Ofen oder über eine Weingeistflamme, so überzeugt man sich, dass trotz der scheinbar völlig gleichen äusseren und inneren Verhältnisse sehr bald die Strömung eine entschieden einseitige Richtung, durch die eine Oeffnung hinab, durch die andere empor annimmt.

Fig. 296.

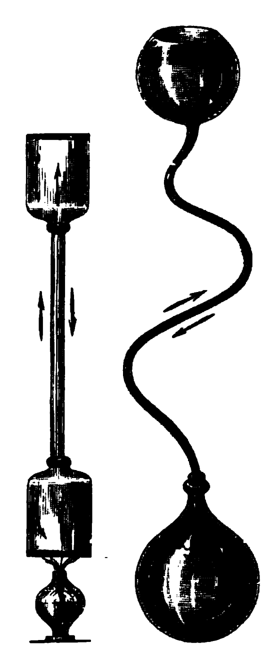


Die Einrichtung der Luftheizung muss aber, was die Art und Weise der Luftströmung betrifft, eine solche sein, dass man höchstens die Heizkammer als dicht geschlossen gegen aussen ansehen darf; in den durch die Heizkammer communicirenden Räumen muss man die Thüren und Fenster vollständig öffnen dürfen, ohne dass dadurch die Luftbewegung in der Hauptrichtung gestört wird.

Wenn die Ofenkammer bei Weitem tiefer liegt, als der zu erwärmende Raum, wenn also die Stube mit der Heizkammer durch einen langen verticalen oder auch schrägen, gekrümmten Kanal in Verbindung steht, so wird wegen der vergrösserten Bewegungswiderstände, namentlich der Reibung der beiden Ströme gegenseitig und an den Wänden der Effect noch geringer, doch wird immerhin die circulirende Luftbewegung stattfinden. Um auch diesen Fall im Kleinen recht deutlich zu beobachten, kann man über der Oeffnung einer mit Rauch gefüllten Flasche (Fig. 297), die an keiner anderen Stelle mit der äusseren Luft in Verbindung steht, eine Glasröhre anbringen, die wieder an der oberen Mündung ein Gefäss, etwa eine umgekehrte Flasche trägt, die aber weder sehr dicht an der Röhre befestigt, noch auch an den Wänden vollständig geschlossen zu sein braucht; sie darf z. B. eine kleine Oeffnung an der Seite, eine Bruchstelle haben. Erwärmt man nun die untere Flasche über dem Ofen oder über einer Weingeistflamme, so wird man deutlich eine Doppelströmung in der Röhre und eine Circulation in beiden Gefässen wahrnehmen.

Dass eine sehr geringe Differenz der specifischen Gewichte und eine geringere Verschieblichkeit der Theilchen als die, welche die Luft besitzt, schon genügt, um die erwähnte Erscheinung hervorzubringen, zeigt folgende Modification des vorigen Versuchs (Fig. 298): Man fülle ein Glasgefäss, welches mit einem anderen offenen Gefässe durch eine nach oben gerichtete Röhre verbunden ist, mit Wasser, das man gefärbt oder etwa mit Cigarrenasche u. dgl. getrübt hat, um die Strömung deutlich beobachten zu können. Schon bei geringer Erwärmung des unteren Theiles, wodurch also erst eine sehr geringe Verminderung des specifischen Gewichts im Wasser veranlasst sein kann, findet eine Doppelströmung in der Röhre und eine Circulation in beiden Gefässen statt, und natürlich um so heftiger, je bedeutender die Temperaturdifferenz ist, je rascher also die Erwärmung des unteren Theiles bewerkstelligt wird. Dieses Experiment stellte ich mit einer Glasröhre an, deren Weite kaum 3 Millimeter betrug und die fast 30 Centimeter lang und absichtlich nach verschiedenen Richtungen gekrümmt war, weil der geringe Querschnitt sowohl wie die Krümmungen offenbar geeignet sein konnten, die Bewegung zu verhindern oder deren Regelmässigkeit zu stören. Eine sehr gleichmässige und leicht zu beobachtende Bewegung erzielte ich schon dadurch, dass ich das untere Gefäss in lauwarmes Wasser stellte.

Fig. 297. Fig. 298.



Bei der in Figur 295 dargestellten Einrichtung steigt die warme Luft sogleich bei ihrem Einfliessen in den Raum *S* gegen die Decke desselben und verbreitet sich von da erst allmählich nach den tieferen Schichten. Demnach könnte es gleichgültig scheinen, in welcher Höhe über dem Fussboden die Warmluftöffnung angebracht ist; und da man vielleicht aus verschiedenen Gründen die Oeffnung am Boden und auch in geringer Höhe über demselben vermeiden will, so ist zu untersuchen, welche Erscheinung die beiden Luftströme bieten, und welche weiteren Anordnungen etwa noch zu treffen sind, wenn man die Warmluftöffnung nahe an die Decke legt. Dieser Fall ist in Fig. 299 angedeutet. Sind die beiden Räume, oder

auch nur die Heizkammer, gegen aussen dicht geschlossen, so hat man den vorigen Fall, nur mit dem Unterschiede, dass nun der eigentlich geheizte Raum nur der geringe Theil des Zimmers zwischen dem Horizonte der oberen Ausflussöffnung und der Decke des Zimmers ist; auf diesen geringen Theil wird sich nun auch die Circulation beschränken und auf die Erwärmung des tieferen Theiles wird sie kaum einen merklichen Einfluss haben. Soll also auch hier wieder vollständige Circulation stattfinden, das heisst, immer die käl-

Fig. 299.



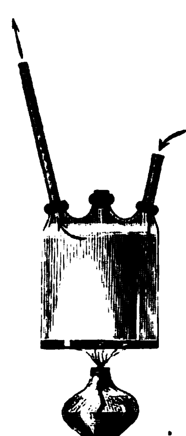
Fig. 300.



teste Luftschicht des Zimmers zu neuer Erwärmung in die Heizkammer hinabfliessen, so wird eine eigene Oeffnung hiefür am Fussboden des Zimmers nöthig. Man kann zu diesem Zwecke die Oeffnung a aus Fig. 295 beibehalten (Fig. 300). Die Besorgniss, dass durch diese Oeffnung am Boden eine grosse Menge heisser Luft ausströmen werde, weil die kälteren Luftschichten an dieser Stelle sie leichter emporheben müssten, während die an der oberen Mündung des Kanals *ee* ausfliessende erwärmte Luft durch die Spannkraft der bereits in dieser Höhe vorhandenen warmen Luft einen Widerstand fände — diese Besorgniss erweist sich als unbegründet, wenn man bedenkt, dass sich die Spannkräfte in communicirenden Luftmassen zu dem Grade, der ihnen unter dem Luftdrucke in dem betreffenden Horizonte zukommt, mit ungeheurer Schnelligkeit ausgleichen, dass also die Aenderung der Spannkraft durch die Erwärmung im vorliegenden Falle unbeachtet bleiben kann; dass ferner die einmal wärmere Luftsäule *ee* mit einer gleich hohen Säule der kälteren Zimmerluft nicht im Gleichgewicht sein kann,

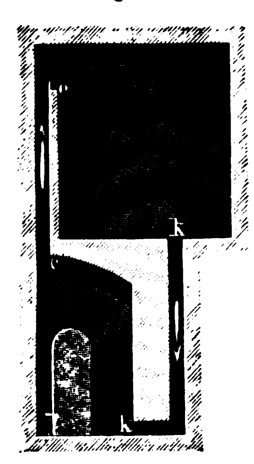
dass folglich erstere entschieden emporgehoben wird, indem eine gleiche Luftmenge in die tiefere Oeffnung am Boden zur Heizkammer fliesst. Ist diese letztere Oeffnung *a* nicht bedeutend grösser als der Querschnitt des Kanals *e e*, so wird man durchaus nicht durch ein Emporströmen der heissen Luft aus dieser Oeffnung belästigt werden. — Um diesen Fall anschaulich zu machen, dient die mit Rauch gefüllte erwärmte Flasche Fig. 301, welche in gleicher Höhe auf der einen Seite mit einer Oeffnung oder nur kurzen Röhre, auf der anderen Seite mit einer längeren Röhre versehen ist. Die Luftströmung ist entschieden durch die kürzere Röhre abwärts-, durch die längere aufwärtsgerichtet.

Fig. 301.



Die vorstehende Einrichtung ist auch für zwei oder mehrere auf gewöhnliche Weise geschlossene Räume, welche in gleichem Horizont liegen und durch dieselbe Heizkammer communiciren, unter günstigen Umständen schon zulässig; denn sind sogar auch die Fenster geöffnet, so bleibt, so lange gefeuert wird, die Luftsäule in einem jeden der emporgeführten Kanäle immerhin leichter, als eine gleich hohe Säule der Zimmerluft, die warme Luft wird also in den höheren Kanälen emporfliessen. Man erkennt übrigens leicht, dass diese Einrichtung für nicht gut geschlossene Räume in verschiedenen Stockwerken ihrem Zwecke nicht entsprechen kann, dass auch bei Räumen in demselben Stockwerk die pressenden und saugenden Wirkungen des Windes die Strömungen leicht umkehren können.

Fig. 302.



Viel zweckdienlicher ist folgende Einrichtung (Figur 302): Führt man einen Kanal *k k* vom Boden des Zimmers nach dem Boden der Heizkammer, so kann durch diesen Kanal keine warme Luft in das Zimmer aufsteigen, weil sie zuerst an den Boden der Heizkammer hinabsinken müsste, was für die leichte warme Luft ebenso unmöglich ist, wie ein Emporfliessen der kältesten Luft im Zimmer nach der Ausflussmündung des Warmluftkanals. Ferner erreicht man durch die Anlage des Kanals *k k* den Vortheil, dass schon bei geringen Temperaturdifferenzen die Richtung

der Luftbewegung eine ganz entschiedene, die Geschwindigkeit eine grössere ist, weil nun die Druckhöhe um die Höhe der Heizkammer vergrössert ist. Diese Einrichtung der Luftheizung wurde seit etwa 60 Jahren mehrfach ausgeführt; in der Regel werden mehrere, zuweilen 4 oder 6 in einem oder in verschiedenen Stockwerken befindliche Zimmer mittels einer Heizkammer erwärmt. Man erzielt bei dieser Einrichtung das vollständige Hinabsinken der kälteren Luftschichten aus sämmtlichen Zimmern zur Heizkammer und zugleich das Abfliessen der wärmeren Luft in alle diese Räume. Diese Circulation geht ununterbrochen fort, so lange die Luft in der Heizkammer wärmer ist, als die in den Zimmern.

Indessen kann auf das sofortige Zustandekommen der richtigen Luftströmung bei Erwärmung der Heizkammerluft mit Sicherheit nur bei den Zimmern eines und desselben Stockwerks gerechnet werden. Bei der Circulationsheizung von Zimmern verschiedener Stockwerke ist es häufig vorgekommen, dass beim Anheizen und dann noch so lange bis ein Theil der oberen Warmluftmündungen geschlossen oder die Heizkammerthür geöffnet wurde, durch einige Warmluftkanäle des unteren Stocks die warme Luft nicht emporkam, vielmehr die Zimmerluft auch durch diese abwärts strömte. Erst nachdem einmal die sämmtlichen Warmluftkanäle mit warmer Luft gefüllt waren, was in Folge der Verminderung des Abflusses warmer Luft an den höheren Ausmündungen oder durch Vermehrung des Zuflusses kalter Luft von unten beim Oeffnen der Heizkammerthür geschah, blieb die Emporströmung der warmen Luft nach allen Zimmern regelmässig im Gange. Die Erklärung dieses Vorgangs hat nach den früheren Mittheilungen keine Schwierigkeit.

Die Geschwindigkeit, mit welcher die Luft sich in den Kanälen bewegt, wird annähernd nach den Gleichungen berechnet:

für die warme Luft $C = 0{,}5 \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}}$ Meter in der Secunde;

für die kältere Luft $c = 0{,}5 \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 - T}}$ Meter in der Secunde;

oder genauer nach §. 83 und §. 166 ff.

In diesen Formeln bezeichnet $g = 9{,}81$ m, H den verticalen Abstand des Bodens der Heizkammer von der Ausflussöffnung der warmen Luft im Zimmer, T die mittlere Temperatur der wärmeren Luftsäule, wofür man die Temperatur der in das Zimmer ausfliessenden Luft setzen kann, t die mittlere Temperatur der kälteren Luftsäule, wofür ziemlich richtig die Temperatur nahe am Fussboden des Zimmers angenommen wird.

Die hiernach zu berechnenden Geschwindigkeiten gelten für die engsten Querschnitte mit Berücksichtigung der Temperaturverschiedenheiten; es ist also vorausgesetzt, dass die Querschnitte im richtigen Verhältniss stehen. Nach §. 70 müssten alsdann die Querschnitte sich umgekehrt verhalten wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der durch die Kanäle fliessenden Luft, und folglich müsste der Warmluftkanal einen grösseren Querschnitt haben als der Kaltluftkanal bei gleichem Ueberdruck. Man pflegt aber beide Kanäle mit gleichen Querschnitten auszuführen, und hiergegen ist bei dieser Circulationsheizung Nichts einzuwenden, wenn man beide Querschnitte so gross macht, wie für den Warmluftkanal erforderlich, weil in diesem alsdann der Querschnitt mit Rücksicht auf die Temperatur als der engste anzusehen ist. Principiell nicht gerechtfertigt wäre die Gleichheit der Kanalquerschnitte, wenn man den für den Kaltluftkanal berechneten Querschnitt auch für den Warmluftkanal annehmen wollte. Genauere Anleitung für die specielle Berechnung der Kanäle folgt im §. 240.

So vortrefflich die eben erklärte Circulationsmethode in ökonomischer Hinsicht sich bewährt, so verwerflich muss sie Jedem erscheinen, der ein Freund der gesunden reinen Luft ist, ein Freund der Ventilation, nicht aber einer Ventilation mit Hülfe schlecht schliessender Thüren und Fenster, welche Ventilation doch weder vollständig genügt, noch auf behagliche Weise vor sich geht. Ferner ist folgender Umstand von besonderer Wichtigkeit. Wird bei dieser Circulationsheizung nur in einer einzigen der aus derselben Heizkammer erwärmten Localitäten Staub, Rauch oder übler Geruch erzeugt, so gelangt alles dieses durch die Abzugkanäle der kalten Luft in die Heizkammer und verbreitet sich von da aus mit der emporströmenden erwärmten Luft in sämmtliche Localitäten. — Wer möchte nicht (im Hinblick auf die früheren Mittheilungen über Luftverderbniss) auf die ökonomischen Vortheile einer Heizung verzichten, deren Princip es ist, weder verdorbene Luft zu entlassen, noch reine Luft einzuführen!

Wohl nicht minder das Bedürfniss zu ventiliren, als das eines grösseren Heizeffectes durch Ermöglichung grösserer Geschwindigkeit für die Luftströmung dürfte Ursache gewesen sein, wesshalb man schon im vorigen Jahrhundert in Russland und England bei ähnlichen Einrichtungen einen Kanal angelegt hat, durch welchen die Heizkammer mit der Atmosphäre communicirt. Es ist dieses der Kanal *ff* in Fig. 303; frische Luft fliesst durch denselben zur Heizkammer und wird erwärmt durch beständig nachfliessende frische Luft emporgehoben

nach den zu heizenden Räumen. Ein Abflusskanal für die kalte Zimmerluft nach aussen war ursprünglich nicht angebracht; fehlt aber ein solcher, so kann die frische Luft durch den Kanal *ff* nicht in grösserer Menge einfliessen, als die wärmere Luft durch die Fugen der Thüren und Fenster und durch sonstige kleine Oeffnungen entweicht. Je besser also der Raum geschlossen ist, desto geringer ist die Ventilation. Die hiebei erreichte Ventilation ist keine unangenehme, wenngleich ebenfalls keine vollständige; sie ist nicht mit dem lästigen sogenannten Zuge der kalten Luft durch die Fenster zu vergleichen; es strömt hier nur warme Luft durch alle Oeffnungen aus, aber keine kalte herein, weil jene nur durch die erwärmt einfliessende reine Luft verdrängt wird. Man hat desshalb auch schon vorgeschlagen, so lange geheizt wird, ein Fenster zu öffnen; allein darüber sind wohl nicht viele Worte zu verlieren.

Fig. 303.



Die Warmluftöffnung im Zimmer muss bei dieser Einrichtung sehr tief liegen, wenn man nicht beständig ein kaltes Fussbad zu haben wünscht. Liegt diese Oeffnung nahe am Boden, und sind Thür und Fenster sehr gut geschlossen, auch die Wände sehr dicht, so kann neben der schon erwähnten geringen Ventilation auch eine Circulation stattfinden, indem dann dieser Fall dem in Fig. 295 dargestellten ähnlich wird. Es kann sich also auch hier wieder die Ausbreitung der verdorbenen, übelriechenden Luft durch sämmtliche Localitäten wie dort einstellen, wenngleich nicht in so hohem Grade.

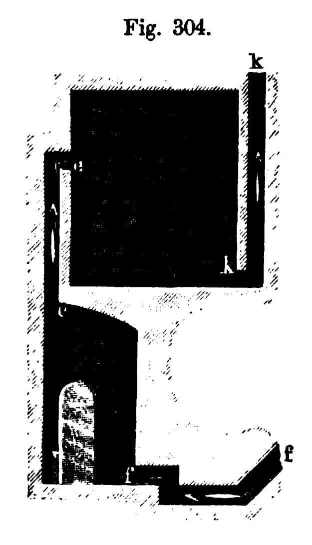
Ganz anders gestaltet sich die Wirkungsweise durch folgende Aenderung:

Man gestattet der verdorbenen Luft des Zimmers durch eine entsprechend grosse Oeffnung in einen nach oben geführten Kanal den Abfluss ins Freie (Fig. 304). Dass diese Oeffnung am Fussboden des Zimmers liege, ist durchaus nothwendig, wenn sie ihrem Zwecke entsprechen soll. Die ausgeathmete Luft, reich an Kohlensäure, ist nur so lange specifisch leichter wie die übrige Luft, als sie wärmer ist als jene.

Die Diffusion der Gase geht, wie die Erfahrung zeigt, am besten in vollkommen ruhiger Luft vor sich; Diffusion und mechanische Ver-

mischung sind wohl zu unterscheiden. Hier haben wir es mit bewegter Luft zu thun, ferner ist die ausgeathmete Luft nicht in solchem Grade erwärmt, wie die aus der Heizkammer ausströmende; endlich sind die Luftmassen, die am längsten im Zimmer benutzt sind, offenbar die kältesten und sinken desshalb an den Boden. Es fliessen folglich durch eine daselbst angebrachte Oeffnung Luftschichten ab, die sowohl die kältesten, als auch die am meisten verunreinigten des ganzen Raumes sind. Wollte man aber bei solcher Luftzuführung die Oeffnung für den Abfluss der Zimmerluft an die Decke legen, so würde niemals die kälteste, immer aber der grösste Theil der einströmenden unverdorbenen warmen Luft sogleich unbenutzt ins Freie fliessen. Dass es unter besonderen Umständen auch vortheilhaft, sogar nothwendig werden kann, jene Abflussöffnungen der Zimmerluft an die Decke zu legen, das ist oben in den Untersuchungen über die Ventilation unter verschiedenen Verhältnissen gezeigt worden. Die zuletzt gemachten Erörterungen sind ebenfalls gewissermassen Wiederholung des oben Gesagten; doch halte ich eine solche Wiederholung an gegenwärtiger Stelle nicht für überflüssig, da ich häufig Gelegenheit hatte zu hören und sogar zu lesen: nach der Theorie müssten sich bei der Luftheizung die Abflussöffnungen der verdorbenen Luft immer an der Decke des Raumes befinden.

Fig. 304.



Der Vorgang in dem in Fig. 304 skizzirten Apparate ist nun folgender: Sobald die Luft in der Heizkammer wärmer ist, als die Luft im Freien, fliesst die äussere Luft in Folge des überwiegenden Druckes durch den Kanal *ff* zur Heizkammer, wird, indem sie sich selbst am Ofen erwärmt, emporgehoben, fliesst durch den Kanal *ee* nach dem zu erwärmenden Raume, verbreitet sich daselbst zunächst unter der Decke, gelangt, während sie sich abkühlt und benutzt wird, immer tiefer herab und fliesst endlich als kälteste Luft des Raumes durch den Kanal *kk* ab.

Weil auf diese Art die benutzte Luft nie wieder neu erwärmt in das Zimmer gelangt, sondern die Heizkammer beständig neue reine Luft zur Benutzung liefert, so nennt man diese Art der

Luftheizung die **Lufterneuerungs- oder Ventilationsmethode** im Gegensatze zu der vorhin dargestellten Circulationsmethode.

Für die Gleichungen, wonach die **Geschwindigkeit der Luftströmung**, dann der Querschnitt eines jeden Kanals berechnet werden kann, so für die Näherungsformel der Geschwindigkeit der wärmeren Luft, nämlich

$$c = 0{,}5 \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T-t)}{273+t}} \text{ Meter in der Secunde}$$

ist nun, wenn das Zimmer nicht besonders gut geschlossen und wenn der Ableitungskanal $k\,k$ so kurz oder seine Temperatur so niedrig ist, dass seine Wirkung in Bezug auf die Geschwindigkeit unbeachtet bleibt, H die Höhe vom Boden der Heizkammer bis zur Ausflussöffnung der warmen Luft im Zimmer, wobei man T als die Temperatur dieser Luft im warmen Kanale annimmt; genauer ist T die Mischungstemperatur nach den Verhältnissen der Höhen für die Luft in der Heizkammer, im warmen Kanale und in der Zimmerhöhe über der Warmluftmündung, und dann ist H diese Gesammthöhe. Kann das Zimmer als dicht geschlossen angenommen werden, was jedoch fast niemals der Fall sein wird, ist ferner die Luft, welche der Kanal $k\,k$ abführt, erheblich warm gegen die äussere Luft, und ist dieser Kanal ziemlich hoch, so ist T die vorige Mischungstemperatur verändert durch die geringere Temperatur der Luftsäule, welche im Ableitungskanale sich über der Decke des Zimmers befindet, und H ist alsdann die Höhe vom Boden der Heizkammer bis zur oberen Mündung des Kanals $k\,k$. In allen Fällen ist t die Temperatur der äusseren Luft. Weitere Mittheilungen über die Berechnungsweisen folgen in §. 240.

Um die Vortheile der **Circulation** und der **Ventilation** zu **vereinigen** oder abwechselnd zu geniessen, sah man sich veranlasst, noch einen besonderen Kanal für den Abfluss der kalten Luft zur Heizkammer anzulegen, das heisst, die ganze dargestellte Einrichtung für die Circulationsheizung mit der für Lufterneuerung zu verbinden. Diese Einrichtung für Luftheizung ist von **Meissner** in Wien seit etwa sechzig Jahren angegeben und vielfach ausgeführt worden; sie ist auch unter dem Namen **Meissner'sche Luftheizung** allenthalben bekannt.

Figur 305 gibt eine Skizze des **Meissner**'schen Apparats. Durch Oeffnen der Kanäle $f\,f$ und $k\,k$ und Schliessen des Kanals $z\,z$ ist die Ventilation hergestellt, umgekehrt die Circulation. Eine nähere Erklärung der Luftströmungen bei dieser Einrichtung wird nach den bisher gegebenen Erläuterungen überflüssig sein.

Solche Einrichtung zur Ermöglichung abwechselnder Circulations- und Ventilationsheizung ist keineswegs so sehr zu empfehlen, wie es

scheinen könnte. Es kommt nämlich leicht vor, dass die verschiedenen Klappen nicht richtig geöffnet und geschlossen werden und dass dadurch Klagen über mangelhafte Leistungen in Bezug auf Heizung und Lufterneuerung zu Tage treten.

Die Rechnung lässt schon erkennen und die Erfahrung bestätigt es, dass Apparate nach Fig. 304, wobei immer mit Ventilation geheizt wird, nicht sehr viel grösseren Aufwand an Brennmaterial erfordern, als jene nach Fig. 305, bei welchen man häufig, und zwar in gesundheitlicher Hinsicht zu lange, mit Circulation heizt. Dieses erklärt sich daraus, dass auch bei der Circulationsheizung eine nicht unbeträchtliche Lufterneuerung durch die zufälligen Oeffnungen stattfindet, wenn auch keine genügende, dass ferner in der Regel beim Anheizen der Unterschied zwischen den Temperaturen der Aussen- und Innenluft nur gering und auch später, indem beständig die kälteste Zimmerluft bei der Circulationsheizung in die Heizkammer geleitet wird, der Unterschied zwischen der Temperatur dieser Luft und der mittleren Wintertemperatur nicht sehr gross ist. Dürfte man die vergleichende Rechnung für — 20° Aussentemperatur und + 20° der rückströmenden Luft ausführen, und für dicht geschlossene Räume bei der Circulationsheizung, so würde sich freilich bei der Ventilationsheizung ein sehr viel grösserer Brennstoffbedarf entziffern. In meinem eignen Wohnhause ist Tag und Nacht die Lufterneurung aus der Heizkammer im Gange, mag die Heizung Nachts unterbrochen oder unterhalten werden, und ich bin damit — seit 1871 — sehr wohl zufrieden.

Wie man leicht einsieht, ist es principiell gleichgültig, ob die Heizkammer im Horizonte der zu erwärmenden Räume oder unterhalb derselben liegt; eine grössere Leistung wird aber offenbar dann erreicht, wenn die Heizkammer unterhalb angebracht ist, weil die Höhe der die Bewegung veranlassenden ungleich warmen Luftsäulen hierbei grösser ist. Man lege überhaupt die Heizkammer so tief wie möglich.

Fig. 306 zeigt eine Anordnung der Meissner'schen Luftheizung, wobei sich die Heizkammer mit den zu erwärmenden Räumen in demselben Horizonte befindet. Die Bezeichnungen gelten den in Fig. 305 gewählten analog. Diese Einrichtung ist zwar nicht anzurathen, unter günstigen Umständen immerhin zulässig.

In allen Einrichtungen, welche im Obigen erklärt worden sind, stand die Zimmerluft in gar keiner Verbindung mit der Feuerung; das Feuer wurde von aussen genährt. Doch hat auch Meissner zum Vortheile der Oekonomie die Einrichtung so ausführen lassen, dass man die

verdorbene oder kältere Zimmerluft, die doch fast immer etwas wärmer ist als die Luft im Freien, meist sogar viel wärmer, statt ins



Fig. 305. Fig. 307.

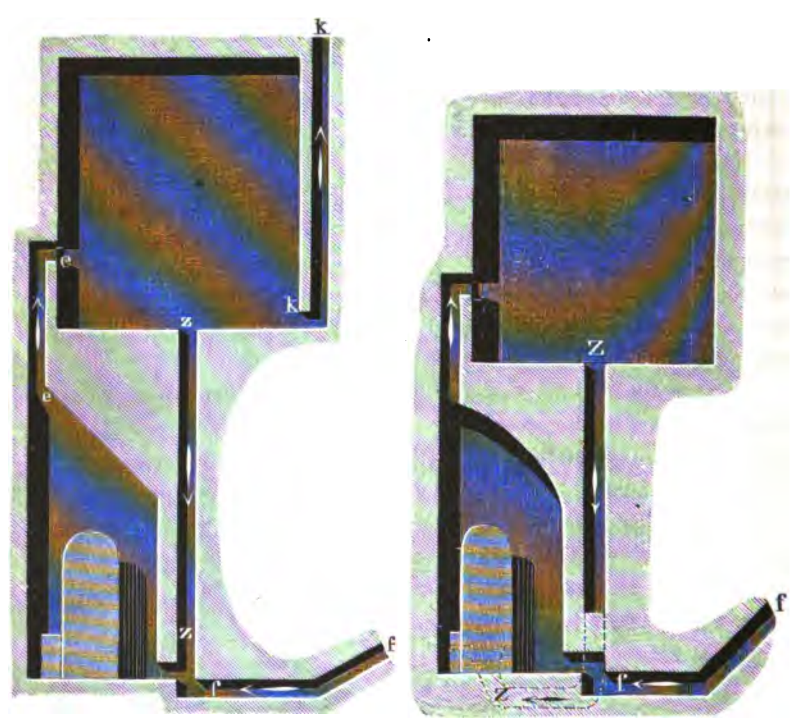
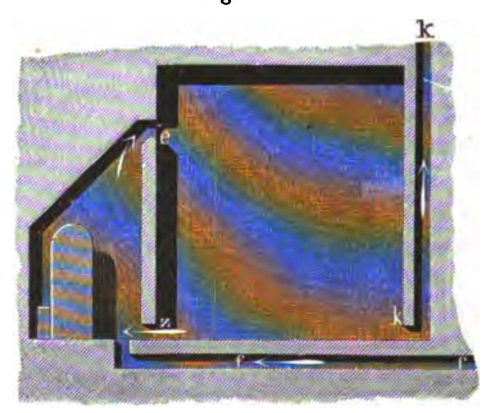


Fig. 306.



Freie, unter den Rost der Feuerung führte. Eine solche Einrichtung ist in Fig. 307 angedeutet.

Nach den gemachten Mittheilungen wird es nicht schwer sein, mit Hülfe von Klappen und Ventilen eine Anordnung zu dem Zwecke zu treffen, dass nach Belieben äussere oder Zimmerluft in die Heizkammer geführt werden kann, sowie dass, so lange ventilirt werden soll, die verdorbene Zimmerluft ins Feuer fliesst und während der Circulation das Feuer gänzlich von aussen genährt wird.

Uebrigens ist wohl zu beachten, dass — bei der verhältnissmässig geringen Luftmenge, welche das Feuer braucht und deren Ueberschuss der Wärmeentwicklung nachtheilig ist, sowie wegen der geringen Rostgrösse und der weiteren Querschnittsverminderung durch das aufgeschüttete Brennmaterial, durch Asche und Schlacken — diese Luftabführung nur in den seltensten Fällen empfohlen werden darf.

Die obigen Figuren sollen nur schematische Darstellungen sein, um die verschiedenen Principien von Luftheizungsapparaten zu veranschaulichen. In der Anwendung sind die scharfen Ecken und Winkel durch Abrundung mit möglichst grossem Halbmesser zu ersetzen, auch die Einströmungsmündungen der Kanäle so zu erweitern und zu gestalten, dass die Contraction vermieden wird. (Vgl. §. 82).

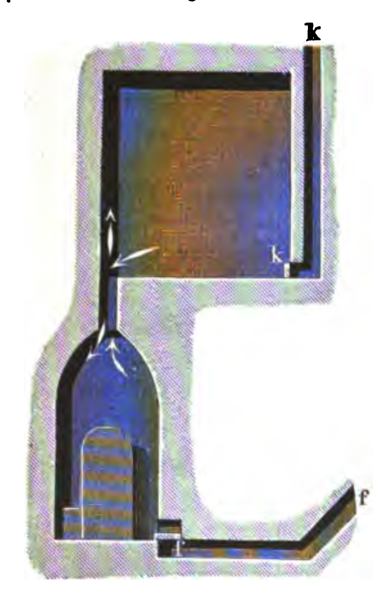
§. 226.

Bemerkungen über die Circulationsheizung mit einem einzigen Kanal.

Legt man bei einer Anlage für Ventilations-Luftheizung nach Fig. 304, ohne im Princip etwas zu ändern, die Ausmündung der warmen Luft im Zimmer ziemlich tief, und zwar sogleich an den Boden selbst (Fig. 308), so darf man am Kanal *ff*, welcher für die Zuführung frischer Luft angebracht ist, die Klappe schliessen; es wird dadurch die Heizung selbst nicht gehemmt, sondern sie muss auf dem Circulationswege vor sich gehen. Denn ist der Kanal *ff* dicht geschlossen, so muss dieselbe Circulation eintreten, die in den Fig. 295, 297, 298 gezeigt worden ist; dass die offene Abflussmündung *k* diese Circulation nicht hemmen kann, ist klar; doch kann man dieselbe, um den Fall der Fig. 295 vollständig zu haben, schliessen. Man hat also durch Schliessen der beiden Kanäle *ff* und *kk* die Circulation in der Heizkammer und in dem zu erwärmenden Raume

mittels einer Doppelströmung im Verbindungskanale beider Räume hergestellt, die vermöge der Eigenschaften der Luft, der Schwere, Raumerfüllung und Verschiebbarkeit stattfinden muss. Auch kann sich im Princip der Sache Nichts ändern, wenn der Kanal in die obersten Stockwerke und mit bedeutenden Krümmungen gezogen wird, wenn nur derselbe auf seinem Wege nach oben an keiner Stelle wieder abwärtsgekrümmt ist, was jedoch, wenn die Einrichtung nur für die Ventilation gemacht wäre, die Luftströmung zwar schwächen, aber nicht verhindern würde, wie aus früheren Untersuchungen über Hebervorrichtungen zu schliessen ist.

Fig. 308



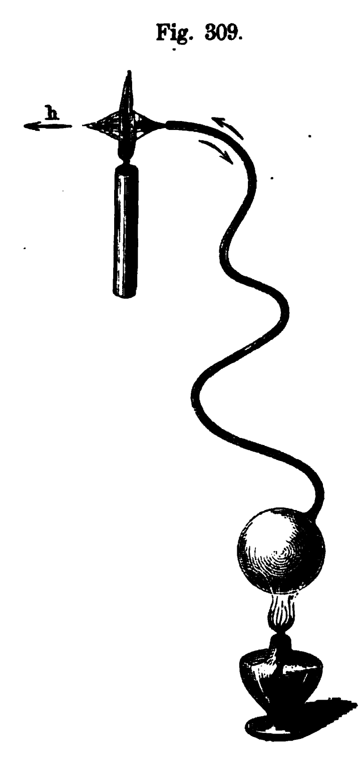
Sollte man zum Beweise der Doppelströmung in einem langen gekrümmten Kanale noch ein recht evidentes directes Experiment mittels Luft wünschen, so mag ein solches im Folgenden angegeben sein:

Eine mit einer hohlen Kugel versehene Glasröhre bog ich zu der unregelmässigen Gestalt, welche die Fig. 309 zeigt. Sobald die Kugel bei der gezeichneten Lage des Apparats über eine Weingeistflamme gehalten wurde, entstand augenblicklich an der Flamme einer an die Oeffnung der Röhre gehaltenen Kerze eine Flammenzunge nach der Richtung *h*; — sehr natürlich — verlangte doch die durch die reichlich von der Weingeistflamme gespendete Wärme ausgedehnte Luft ein viel grösseres Volumen, als ihr in der Kugel vergönnt war; es musste also eine Erscheinung eintreten, ähnlich der, welche beobachtet wird, wenn man mit einem Löthrohre in die Flamme bläst. Nach einigen Secunden jedoch zeigte sich auch nach der entgegengesetzten Richtung eine Flammenzunge, deren Spitze sich bis in die Röhre zog; so entstand die aus der Figur ersichtliche Gestalt der Flamme. Diese Gestalt erhielt sich, so lange die Kugel erhitzt wurde, vollkommen gleichmässig ohne Unterbrechung; gewiss ein augenfälliger Beweis, dass mit nicht geringer Vehemenz ein Luftstrom aus der Röhre hervorschoss, ein zweiter hineinstürzte. Wurde die Röhre für einen Augenblick so gehalten, dass eine der Krümmungen

auch nur wenig abwärts geneigt war, so war auch die erwähnte Erscheinung sogleich verschwunden.

Wenn nun obige Doppelströmung in einer Glasröhre vor sich geht, deren lichte Weite, wie es hier der Fall war, nicht einmal 3 Millimeter beträgt, sollte man alsdann nicht berechtigt sein, einen ähnlichen Vorgang bei einem Warmluftkanal, dessen lichter Querschnitt wenigstens 5000mal so gross ist, als der jener Röhre, zu vermuthen, ja mit naturgesetzlicher Entschiedenheit zu erwarten?

Fig. 309.



Was den Umstand betrifft, dass bei der Anwendung dieser Erscheinung auf den Apparat in Fig. 308, wenn man mittels des einen offenen Wärmekanals die Circulationsheizung vollständig erzielen will, die Warmluftöffnung *e* nahe am oder besser unmittelbar am Boden des Zimmers sein muss, so dürfte die dadurch veranlasste unangenehme Empfindung, wenn man dem Strome zu nahe kommen sollte, kaum so unangenehm sein, wie mitunter die strahlende Wärme eines Ofens, aber noch besser gemieden werden können. Heftig kann die Strömung hierbei wegen der im Vergleiche zu dem erwähnten Experimente sehr geringen Temperaturdifferenz während der Circulation nicht sein; heftiger ist sie allerdings in Folge des gestatteten äusseren Druckes während der Ventilation.

Dürfte die vorstehende Untersuchung auch namentlich in physikalischer Hinsicht nicht ohne Interesse sein, so wird man doch erkennen, dass die Anwendung des für die Ventilationsheizung aufgeführten Warmluftkanals zur Circulationsheizung eine äusserst beschränkte ist, und nur dann einigermassen den gewünschten Erfolg haben kann, wenn nur ein einziger Raum, etwa ein Saal, oder einige Räume, die unter sich durch offene Thüren in Verbindung stehen, aus derselben Heizkammer erwärmt werden. Und auch hierbei muss ein so dichter Schluss der Heizkammer vorausgesetzt werden, wie er in der Regel nicht vorhanden ist.

In Bezug auf das in Fig. 309 veranschaulichte Experiment muss ich beifügen, dass ich dabei, wie es scheint, zufällig besonders günstige Verhältnisse getroffen hatte. Nachdem in Folge einer Unvorsichtigkeit die Glaskugel zerbrochen war, liess ich mir später einen ähnlichen Apparat ausführen, wobei die Kugel nebst einem kurzen cylindrischen Ansatz aus Messing bestand, woran ein Gummischlauch angesteckt wurde. Es war aber damit die erwähnte Erscheinung, welche ich mit dem Glasapparate sehr oft und ganz entschieden hervorgebracht hatte, nicht wieder zu Stande zu bringen. Dieses Misslingen erklärt sich aus der rauhen und sonst ungeeigneten Beschaffenheit des Apparates und beweist Nichts gegen die Möglichkeit der Circulationsheizung mittels eines einzigen Kanals.

§. 227.

Die wesentlichen Bestandtheile der Luftheizungs-Apparate.

Nachdem im Vorstehenden die verschiedenen Luftheizungsmethoden erklärt und die Principien übersichtlich zusammengestellt worden sind, wobei gezeigt wurde, wie jene Heizmethoden aus Naturerscheinungen hervorgegangen, nach Naturgesetzen zu beurtheilen sind, mögen die einzelnen Theile mit Rücksicht auf die praktische Ausführung näher betrachtet werden.

Aus den obigen Darstellungen ist ersichtlich, dass man, welche Methode der Luftheizung auch betrachtet werden mag, zwei Hauptbestandtheile zu unterscheiden hat, nämlich den Apparat zur Entwickelung von Wärme und zur Lufterwärmung den Ofen nebst Luftheizkammer, dann den Luftleitungsapparat, welcher die dreifache Aufgabe hat: die in der Heizkammer erwärmte Luft in die zu heizenden Räume zu leiten, der Heizkammer andere Luftmassen zum Ersatz der emporzuleitenden zuzuführen, die verdorbene oder kältere Zimmerluft abzuleiten.

Nicht bei jeder Luftheizungseinrichtung kommen übrigens alle diese Theile vor. So tritt mitunter die Heizkammer nur als Bestandtheil eines Ofens auf, so fehlt bei der Circulationsmethode der Kanal für den Zufluss frischer Luft, oder er ist während dieser Heizungsweise bei dem vereinigten Ventilations- und Circulationsapparate abgesperrt; so kommt andererseits bei der Ventilationsheizung der Kanal, welcher die schlechtere Zimmerluft zur Heizkammer zurückführen könnte, nur theilweise oder auch gar nicht in Betracht. Wie gezeigt, kann ein solcher Kanal auch

bei Circulationsapparaten fehlen, und die verschiedenen Kanäle können so kurz sein, dass man sie nur als Oeffnungen bezeichnen mag.

Die eingehenderen Mittheilungen in Betreff sämmtlicher Kanäle werden passend nach folgender Eintheilung zu geben sein:

1. Kanäle für Zuleitung warmer Luft,
2. Kanäle für Zuleitung frischer Luft,
3. Kanäle für Ableitung der Zimmerluft.

Die genannten Theile sollen nun der Reihe nach betrachtet werden, wobei auch andere Bestandtheile und Einrichtungen zur Besprechung gelangen, die zwar weniger wesentlich, aber nützlich und unter manchen Verhältnissen sogar nothwendig sind und zur Vervollkommnung der Luftheizungsanlagen beitragen, sowie auch solche, welche mitunter Anwendung finden, aber entbehrlich sind.

§. 228.

Die Heizkammer.

Weil die erhitzte Luft vermöge ihres geringeren specifischen Gewichts stets vertical in der kälteren, specifisch schwereren Luft, mit welcher sie in Berührung ist, emporgehoben wird, andererseits die kältere Zimmerluft unter den hier obwaltenden Umständen nicht aufwärts fliessen kann, so darf die Heizkammer nicht in höherem Horizont liegen, als die zu beheizenden Räume, wenn es auch gerade nicht nöthig ist, dass sie tiefer liegt als das übrige System. Man kann also irgend einen entbehrlichen Raum in die Heizkammer für dasselbe oder für ein höheres Stockwerk umwandeln, oder die Heizkammer in einem Vorgelege anbringen. Da es aber hiebei nöthig würde, die warme Luft häufig in längeren horizontalen oder wenig steigenden Leitungen fortzuführen, wodurch Verminderung der Geschwindigkeit und Wärmeverluste in höherem Grade veranlasst würden; da man ferner in den meisten Fällen am bequemsten einen Raum im Kellergeschoss entbehren kann und auch wegen der grösseren Druckhöhe eine um so schnellere Heizung erzielt, je tiefer die Heizkammer liegt; — so lege man die Heizkammer in den Keller, und wo möglich noch unter die Kellersohle vertieft.

Die Heizkammer muss so beschaffen sein, dass sie die in ihr producirte Wärme möglichst für die Räume, welche erwärmt werden sollen, in sich zusammenhält; sie soll die Wärme nicht den sie umgebenden Mauermassen und Kellerräumen mittheilen. Aus diesem Grunde bildet

man den Mantel der Heizkammer gewöhnlich aus doppelten Wänden, die einige Centimeter von einander entfernt aufgeführt werden. Beide Wände sind entweder gänzlich aus Stein, Ziegeln, oder es ist die innere Wand noch mit Eisenblech beschlagen oder sie besteht auch nur aus Eisenblech. Es ist übrigens durchaus nicht nöthig, eine sehr glatte Wand im Innern der Heizkammer herzustellen, vorausgesetzt, dass der Wärmeableitung nach aussen durch gute Isolirung genügend vorgebeugt ist. Es ist erwünscht, dass sich die Luft in der Heizkammer nicht allein am Ofen, sondern auch an den Heizkammerwänden erwärme. Je rauher diese sind, desto mehr werden sie durch Wärmestrahlen, welche sie treffen, erwärmt, desto mehr geeignet werden sie also auch, wieder die mit ihnen in Berührung kommende Luft zu erwärmen. Ueberdies wird die Lufterwärmung durch die grössere Anzahl der Berührungspunkte an rauhen Wandflächen begünstigt. Aus diesen Gründen wäre es sogar zweckmässig, die inneren Wandflächen der Heizkammer sehr rauh auszuführen. In neuerer Zeit wird das Gegentheil verlangt, nämlich möglichst glatte Herstellung der Heizkammerwände. Ein Rechtfertigungsgrund dieser Forderung liegt in der Absicht, das Anhängen von Staub zu vermindern. Man kann jedoch durch Filtration und Waschung der Luft auf ihrem Wege zur Heizkammer, auch schon durch einfache Anwendung von Vorkammern, Kaltluftkammern, von welchen Einrichtungen alsbald die Rede sein wird, dafür sorgen, dass die Luft in erwünschtem Grade staubfrei in die Heizkammer gelangt. Ich bin keineswegs der Ansicht, dass man in erster Linie auf Billigkeit der Anlage Rücksicht nehmen soll. Allein wenn man es als wünschenswerth bezeichnet, dass die Heizkammerwände mit Mettlacher Plättchen, glasirten Thonfliesen oder Kacheln u. dgl. bekleidet werden, so möchte ich dagegen einwenden, dass die Vortheile dieser Einrichtung nicht im Verhältniss zu den aufzuwendenden Kosten stehen. Ein absichtlich sehr rauh hergestellter Wandverputz — etwa Spritzbewurf — ist allerdings trotz des in Bezug auf Lufterwärmung und Wärmereservirung damit erreichbaren Nutzens nicht zu empfehlen; aber der gewöhnliche sogenannte glatte Richtscheitverputz mit gutem scharfsandigen Mörtel von Luftkalk oder nach Umständen von natürlichem oder künstlichem hydraulischen Kalk ohne Uebertünchung wird zweckmässig sein, und er ist rasch und verhältnissmässig billig ausführbar.

Von der Verwendung in Heizkammern principiell auszuschliessen ist aber jeder glatte wie rauhe Ueberzug der Wände und Decken, welcher nicht fest haftet, sondern leicht abbröckelt, abblättert, abstäubt. Denn durch solchen Staub kann die der Heizkammer gereinigt zugeführte

Luft wieder verunreinigt werden. Indessen, wenn die Heizkammer nicht zu eng und folglich die Luftströmung darin nicht sehr stark ist, werden nur die feinsten Staubtheilchen in die Höhe gerissen, und der dadurch möglicher Weise entstehende Nachtheil ist unbedeutend, da sich ein geringes Staubquantum, ein viel geringeres, als es durch die Fensterfugen eingetrieben werden kann, auf eine sehr grosse Luftmenge vertheilt, und weil so geringe Mengen des fein vertheilten Kalkstaubs ohne erheblichen Nachtheil für die Gesundheit eingeathmet werden können. Die Wirkung ist keine chemische, sondern eine mechanische, welche bei Ueberhandnahme des feinen Kalkstaubs einen Rejz auf die Schleimhäute verursachen kann, aber nicht zu vergleichen ist mit der Schädlichkeit des Einathmens von Steinsplittern, wie es bei den Arbeiten der Steinhauer vorkommt.

Die Decke der Heizkammer muss gut und dicht gewölbt sein, am besten doppelt; sie muss am höchsten Punkte die Mündung von wenigstens einem Warmluftkanal enthalten. Mitunter hat man auch die Decke aus eisernen Schienen und Thonfliesen construirt. Diese Einrichtung hat aber nach kurzer Zeit einen Wärmeverlust zur Folge, weil durch die verschiedene Ausdehnung des Eisens und der übrigen Deckmasse alsbald Risse in der Decke entstehen; dabei bröckelt auch das Bindemittel und der Verputz etwas ab, was Staub veranlasst, wenn auch nicht in bedenklichem Grade.

Es ist indessen beizufügen, dass die Bildung einer horizontalen oder auch in der Mitte etwas herabhängenden Decke in manchen Fällen sehr nützlich ist, und man eine solche zweckmässig noch unter dem Heizkammergewölbe anbringt, weil dabei leicht an jeder Seite Warmluftmündungen in der gleichen grössten Höhe angelegt werden können.

Dieser Umstand rechtfertigt die Anwendung von Eisen für die Bildung einer horizontalen Heizkammerdecke, wenn die Construction sonst auch einige Mängel hat.

Der Herausgeber des „Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur", Civil-Ingenieur G. Stumpf in Berlin, empfiehlt den feuerfesten Deckenverputz des Maurermeisters C. Rabitz in Berlin (D. Reichspatent Nr. 3789) für die Anwendung in Heizkammern. Als Träger des Verputzes wird Drahtgewebe oder Drahtgeflecht (von 1 ½ mm dickem Eisendraht mit etwa 1 cm Maschenweite) verwendet. Durch die Maschen wird von unten Haarkalk gedrückt, welcher auf der oberen Fläche vordringt und, sich vereinigend, dem ferner aufzutragenden Putzmaterial, Kalk und Gips, einen festen Halt gewährt*).

*) Der Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur, 1879, Nr. 14 und 1880, Nr. 5.

Den Raum in der doppelten Wand und Decke lässt man gewöhnlich einfach hohl und behauptet sogar, es sei so am besten, weil die ruhige Luftschicht der schlechteste Wärmeleiter sei. — Es ist kaum ein Fall denkbar, bei welchem die Luft in einem von allen Seiten so gleichmässig warmen, oder nach oben so in der Temperatur zunehmenden Raume eingeschlossen ist, dass man von einer vollkommen ruhigen Luftschicht reden könnte; der vorliegende Fall ist ein solcher gewiss nicht. Es wird folglich die eingeschlossene Luft durch Strömung und Berührung eine grosse Menge der Wärme von der inneren Wand auf die äussere überleiten. Ueberdies finden die von der inneren Wand gegen die äussere ausgehenden Wärmestrahlen in dieser Luftschicht durchaus keinen Widerstand, der irgendwie in Betracht kommen könnte. Aus diesen Gründen wird es weit besser sein, den Zwischenraum zwischen der doppelten Wand und Decke etwa mit Asche auszufüllen.

Vor der Anlage einer Heizkammer hat man genau zu untersuchen, ob der Platz, welcher derselben angewiesen ist, auch vollkommen trocken sei; ist dieses nicht der Fall, und soll der bezeichnete Ort dennoch beibehalten werden, so muss man die Heizkammer mit Hülfe von Beton, Cement, Bleiplatten u. dgl. vollständig von der Umgebung isoliren, weil sonst das von den Wänden angesaugte, auch noch durch den überwiegenden äusseren Druck in dieselben gepresste Wasser von der warmen Luft aufgenommen und sammt den etwa darin enthaltenen flüchtigen Verunreinigungen den geheizten Räumen mitgetheilt würde.

Was die Grösse der Heizkammer oder die Entfernung der Wände vom Ofen betrifft, liess Mancher sich von dem Gedanken leiten, die Heizkammer sei als ein überschüssiges Zimmer zu betrachten, welches mit den übrigen geheizt werden müsse; und aus diesem Grunde machte man, auch wo es an Raum nicht fehlte, die Heizkammer häufig so eng, dass eine Besichtigung oder Reparatur des Ofens und das zuweilen nothwendige Reinigen von Staub kaum ermöglicht war. Wenn man sich aber an das Gesetz der Wellenbewegung oder Strahlung erinnert, so muss man nach diesem allein urtheilen, dass die Menge der auf die Wand vom Ofen aus gelangenden Wärmewellen oder Wärmestrahlen dieselbe ist, mag die Heizkammer gross oder klein sein; in dem Masse wie die Fläche der Heizkammer zunimmt, wachsen die Kugelwellen in ihrer Ausdehnung, vertheilen sich die Wärmestrahlen; die strahlende Wärme verliert gerade im Verhältnisse der Vertheilung an Intensität. Bedenkt man ferner, dass die Luft das Vermögen besitzt, Wärme zu

absorbiren, welches Vermögen ja gerade die Heizung bewirkt, dass sie durch Berührung mit einer grösseren auch weniger erhitzten Fläche ebensoviel Wärme absorbiren kann wie durch Berührung mit einer kleineren verhältnissmässig mehr erhitzten, dass die Wärmecapacität und Wärmeableitung fester Körper mit der Temperatur wächst, dass die Strömung um so ruhiger und regelmässiger von Statten gehen muss, je grösser der Luftvorrath in der Heizkammer ist, dass der irgendwie in die Heizkammer gelangende Staub um so weniger am Ofen und in die Heizkanäle emporgerissen wird, je geringer die Geschwindigkeit der emporfliessenden Luft ist, dass endlich die Luft, ein flüssiger Körper von ausserordentlicher Beweglichkeit, von selbst an den Ofen fliesst und keineswegs dahin gedrängt werden muss; — so wird man einsehen, dass es durchaus kein Nachtheil sein kann, die Heizkammer so gross anzulegen, als es die Verhältnisse gestatten, dass man aber wenigstens als Regel festhalten soll, sie so gross zu machen, dass eine Reparatur und Reinigung bequem geschehen kann. Eine grosse Höhe der Heizkammer ist entschieden sehr vortheilhaft, weil sich die warme Luft über dem Ofen sammelt, der Ofen selbst also in kälterer Luft steht, an welche er seine Wärme schneller abgibt, als an die bereits wärmere Luft.

Um die Nachhaltigkeit der Erwärmung zu erhöhen, hat man zuweilen den Ofen oder die innere Wand der Heizkammer mit einer Lehmschicht überzogen; dieses Verfahren hat aber ausser der Verschlechterung der Heizfläche und rascherem Durchbrennen des Ofens folgenden Nachtheil: wenn auch dem Eindringen der Feuchtigkeit von aussen vorgebeugt ist oder die Heizkammer in trocknem Grunde steht, so wird doch die Luft in der Heizkammer während des Erkaltens relativ feuchter. Der Lehm oder Thon saugt die Feuchtigheit auf und entlässt sie wieder bei erneuertem Heizen, wodurch sich durch sämmtliche Räume ein nicht angenehmer Thongeruch verbreitet.

Es ist bereits angegeben, dass die inneren bestrahlten Heizkammerwände zur Lufterwärmung wesentlich beitragen. Sie bilden überdies, wie die gewölbte Decke, zweckmässige Wärmereservoire, wenn durch Hohlräume mit Aschenfüllung die Wärmetransmission vermindert ist. Solche Wärmeverluste sind nicht gänzlich zu verhüten, sie aber noch weiter herabzusetzen, ist zuweilen wegen nothwendiger Kühlhaltung der Kellerräume von Wichtigkeit. In dieser Beziehung sind Vorkehrungen zweckmässig, welche die vom Ofen ausgehenden Wärmestrahlen für die Lufterwärmung nutzbar machen lassen, ohne die Wärmetransmission zu begünstigen. Dieses und zugleich nachhaltige Wärme kann

man, wenn die Heizkammer geräumig genug ist, dadurch erzielen, dass man zwischen dem Ofen und den Wänden gut gebrannte Backsteine oder auch andere Steine, Basalt, Granit, Porphyr u. dgl. in doppelten oder mehrfachen Reihen mit Zwischenräumen so aufstellt, dass die vom Ofen ausgehenden Wärmestrahlen von den Steinen abgefangen werden und die Luft mit ihnen möglichst vielseitig in Berührung kommt. Es ist jedoch nicht ausser Acht zu lassen, dass ein solches Wärmereservoir beim Anheizen sehr viel Wärme absorbirt, wodurch die Erwärmung der Räume verzögert wird. Wo also die auf besagte Weise ermöglichte Nachhaltigkeit der Wärme wegen kurzer Benützung der geheizten Räume, wie in Kirchen, oder wegen mehr continuirlicher Feuerungsweise von keinem oder nur untergeordnetem Werthe ist, und namentlich wo es auf möglichst rasche Erwärmung der Räume ankommt, empfiehlt es sich mehr, Blechtafeln an geeigneten Gestellen so um den Ofen herum aufzuhängen, dass unter denselben die kalte Luft in reichlicher Menge zum Ofen fliessen kann und ebenso zwischen dem Ofen und den Strahlenfangblechen reichlicher Luftraum bleibt.

Der unmittelbaren Strahlung vom Ofen aus gegen die Decke der Heizkammer kann man in ähnlicher Weise vorbeugen, indem man eine Blechtafel in einiger Entfernung über dem Ofen mittels einiger Eisenstäbchen an dem Ofen oder an der Decke befestigt. Bei einer solchen Anordnung ist es weniger wichtig, die Heizkammer durch doppelte Wände und doppeltes Gewölbe zu isoliren.

Auch den Fussboden der Heizkammer mit gebrannten Steinen hohl zu belegen, ist nicht ohne Vortheil; doch kommt dort der Wärmeverlust durch Strahlung wenig in Betracht, weil die Intensität der Wärmestrahlen auch von dem Sinus des Einfallswinkels abhängig, das heisst um so geringer ist, je kleiner der Winkel, unter welchem die Wärmestrahlen eine Fläche treffen; weil ferner den Boden beständig eine kältere Luftmasse bedeckt und überfliesst, an die er sehr rasch die aufgenommene Wärme wieder abgibt.

Um die Wärmeableitung durch die Thür der Heizkammer möglichst zu verringern, bringe man dieselbe so tief und so niedrig als möglich an, immerhin so, dass die Heizkammer gut zugänglich ist. Diese Thür kann aus zwei Blechtafeln bestehen, deren Zwischenraum mit einem auch in der grössten Hitze unveränderlichen Körper, der die Wärme schlecht leitet, also mit reiner Asche ausgefüllt ist; oder man wendet zwei gut in Falzen liegende Blechthüren an, von welchen die eine nach aussen, die andere nach innen geöffnet wird. Gestattet der anderweitig in Anspruch genommene Raum der Heizkammer nicht gut

die innere Thür mit Bändern und Kloben wie gewöhnlich drehbar anzuschlagen, so kann man diese am einfachsten an der inneren Seite des Thürgewändes glatt anliegen lassen, mittels eines rechten und linken Riegels befestigen und sie, wenn man die Heizkammer betreten will, zur Seite schieben.

Ein sehr dichter Schluss der Thüren ist nicht nothwendig, wenn die Einrichtung für Ventilationsheizung bestimmt ist und der Keller oder sonstige Raum neben der Heizkammer gute Luft enthält. Ausserdem aber, und besonders bei der Circulationsheizung, ist es von grosser Wichtigkeit, dass die Heizkammer möglichst luftdicht geschlossen ist.

Wo man von der Dauerhaftigkeit des Ofens und der richtigen Behandlung so sicher überzeugt sein kann, dass es nur höchst selten nothwendig wird, die Heizkammer zu betreten, mag man die Thür aus einer Steinplatte bestehen lassen und die Fugen mit Mörtel oder Lehm zustreichen; die Thür selbst soll natürlich sich schon sehr dicht an den Falz anschliessen, als Platte wenigstens an den Rändern geschliffen sein. Ausserdem, wenn man nämlich die Thür nicht verstreichen will, könnte man einen hinlänglich dichten Verschluss dadurch erreichen, dass man an einer kleinen Vormauerung noch eine Vorthür anbringt, deren Ränder man mit einem weichen pressbaren Körper, Filz, Tuch, Kautschuk u. dgl. polstert, was bei der eigentlichen Heizkammerthür wegen der möglichen Verbrennung oder Verkohlung dieser Gegenstände nicht geschehen dürfte. Die Vorthür darf aus Holz bestehen, und zu aller Sicherheit kann man sie durch einen Anstrich mit Wasserglasfirniss vor der leichten Entzündlichkeit schützen. Diesen Firniss kann man durch Vermengen von Kreide mit wasserhaltigem kieselsaurem Kali (Wasserglas) bereiten.

Rathsam ist es immer, die Heizkammer auf eine solche Weise zu schliessen, dass sie jederzeit rasch und ohne Umständlichkeiten betreten werden kann, wenn es auch nur desshalb geschieht, um sich in beliebiger Zeit zu vergewissern, dass der Ofen in gutem Zustande ist, und um zu erkennen, wie weit die Feuerung forcirt werden darf, ohne dass der Ofen an irgend einer Stelle glüht. Hierauf möge man auch bei der Anwendung von Strahlenfangwänden u. dgl. Rücksicht nehmen.

§. 229.

Von den Luftheizungsöfen im Allgemeinen.

Da bei Luftheizung die strahlende Wärme, welche bei gewöhnlichen Stubenöfen bedeutend und auch bei Mantelöfen noch in gewissem Grade

zur Zimmererwärmung beiträgt, nicht mehr an die Zimmer abgegeben wird, sondern an andere feste Körper, an welchen sich zwar die Heizluft erwärmt, wobei aber Wärmeverluste nicht zu vermeiden sind, und da überdies durch gleichzeitige Wirkung von Wärmestrahlen ein Zimmerraum schneller auf eine befriedigende Temperatur gebracht werden kann; so müsste ein Stubenofen, welcher bei gewöhnlicher Benützung für die Heizung eines Raumes ausreicht, bei der Anwendung in einer Heizkammer unter denselben Umständen stärker in Anspruch genommen werden, um den Raum ebenso rasch zu erwärmen und in Folge der forcirten Feuerungsweise, welche nicht so unmittelbar wie bei dem Ofen im Zimmer beachtet wird, würde der Ofen rascher schadhaft werden.

Jede Schadhaftigkeit des Ofens tritt aber bei der Luftheizung mehr störend auf als bei der Stubenofenheizung. Daraus geht hervor, dass man bei der Construction und Auswahl eines Luftheizungsofens vorsichtiger sein muss, als wenn es sich um einen Stubenofen handelt. Uebrigens beruht die Construction der Luftheizungsöfen im Wesentlichen auf denselben Bedingungen und Principien wie jene der Stubenöfen.

Wo man aber, wie es gewöhnlich der Fall ist, sehr grosse oder eine grössere Anzahl kleinerer Räume bei Verminderung der Zahl der Feuerstellen zu heizen beabsichtigt, müssen Luftheizungsöfen, dem Zwecke der Erwärmung grösserer Luftmengen entsprechend, reichlich gross sein, dabei sich aber leicht reinigen lassen, und in vielen Fällen ist es von Wichtigkeit, dass die Reinigung gänzlich von aussen geschehen kann, ohne dass Jemand die Heizkammer zu betreten braucht, damit die durch das Reinigen der Oefen entstehenden Ursachen der Verunreinigung der Heizkammerluft ausgeschlossen sind. Ferner sollen die Luftheizungsöfen, wie die als Halsöfen bezeichneten Stubenöfen ausserhalb des Zimmers, so ausserhalb der Heizkammer sich beschicken lassen; es soll also, welchen Ofen man auch in die Heizkammer stellen mag, die Ofenthür und beziehungsweise die Füllöffnung sich ausserhalb des Heizkammermantels befinden.

Diese Bedingung liegt nahe. Abgesehen davon, dass die Gründe, welche bei Zimmeröfen für innere Feuerung sprechen, an dieser Stelle nicht vorgebracht werden können, dass sich sogar die Bequemlichkeit in das Gegentheil verwandeln würde, so müsste auch durch das häufige Oeffnen der Heizkammerthür viel Wärme verloren gehen, sowie die Circulation und Ventilation gestört werden. Ferner wäre ein „guter Zug“ im Ofen neben einer guten Circulation gar nicht möglich. Endlich wäre bei dem Beschicken des Ofens im Innern der Heizkammer eine Verunreinigung derselben durch Staub und zerstreutes Brennmaterial unver-

meidlich; davon würden die leichtesten Bestandtheile durch die Kanäle emporgerissen werden, während andere, am Ofen verkohlend, einen schlechten Geruch verbreiten müssten. Man wird also unbedingt die Feuerung ausserhalb der Heizkammer anordnen.

Genau das Nämliche in Bezug auf die Aussenheizung habe ich bereits vor 20 Jahren in der ersten Auflage dieses Buches gesagt. Seitdem habe ich nur bei einer einzigen und zwar schon länger bestehenden Luftheizung die Einrichtung gesehen, dass die Heizkammerluft zur Nahrung des Feuers diente, und dass man, um den Ofen zu bedienen, die Heizkammer betreten, dortselbst auch Asche und Schlacken aus dem Ofen nehmen musste. In Folge dessen war die Heizkammer stark verunreinigt, und Decken wie Wände der Zimmer waren von Rauch und Russ geschwärzt, wie ich es niemals bei anderen Heizungseinrichtungen gefunden.

Dieses kann insofern sonderbar scheinen, als dort in der Heizkammer keine anderen Verrichtungen an dem Ofen vorgenommen wurden, als in Zimmern, wo man mit sogenannten Windöfen heizt. Allein die einwirkenden Umstände sind in beiden Fällen verschieden, und zwar in hohem Grade für den Fall der Circulationsluftheizung. Da kommen Störungen des Zuges und damit Austreten von Rauch durch die Feuerthür und Ofenfugen in die Heizkammer leichter vor, als gleiche Uebelstände bei dem nämlichen Ofen, wenn er in einem Zimmer steht, weil der äussere Ueberdruck gegen die Ofenluft im Zimmer, welches direct mit der kälteren Aussenluft in Communication steht, grösser ist als in der Heizkammer, wo dem Schornstein gegenüber sich im Allgemeinen eine ziemlich hohe und warme Luftsäule befindet; denn auch die Rückführungskanäle zur Heizkammer enthalten ziemlich warme Luft. Nur wenn diese Kanäle kalt sind, oder wenn die Einrichtung eine Ventilations-Luftheizung ist und der Kanal für Zuleitung frischer Luft mit einem verhältnissmässig grossen Querschnitt offen steht, sind die Umstände nahezu die gleichen, oder sie sind sogar noch günstiger bei der Luftheizung wegen des höheren Schornsteins.

Ist aber, etwa absichtlich, um nicht zu viel kalte Luft eindringen zu lassen, oder zufälliger Weise, wie es durch Unachtsamkeit vorkommt, die Klappe jenes Zuleitungskanals geschlossen, so steht die warme Luftsäule in der Heizkammer, in den warmen Kanälen und geheizten Räumen der Luftsäule des Schornsteins als communicirend gegenüber, es ist folglich ein nur geringer Ueberdruck gegen den Schornstein hin, ein nur geringer Zug vorhanden, und sonst geringfügige Nebenumstände verursachen dann das Rauchen. Dieses tritt in erhöhtem Grade ein, wenn

wegen bereits genügender Erwärmung der Räume nur schwach gefeuert wird.

Was hier vom geschlossenen Zuleitungskanal gesagt ist, gilt auch theilweise, wenn derselbe zu wenig geöffnet ist. Man wird also an der Regel festzuhalten haben, dass die Luftheizungsöfen Halsöfen sein sollen.

Im Uebrigen können die Luftheizungsöfen, wie die Zimmeröfen auf die verschiedensten Arten und für beliebiges Brennmaterial eingerichtet sein; der Construction ist hier jedoch grössere Freiheit mit Bezugnahme darauf gewährt, dass der Ofen dem Auge entzogen ist, somit die ästhetische Form desselben nicht zur Berücksichtigung kommt. Oefen, die zu ganz anderen Zwecken bestimmt waren, hat man zuweilen für die Luftheizung benützt und bei sonst guter Einrichtung befriedigende Resultate erzielt. Man benutzt Oefen von Gusseisen, von dickem Eisenblech und gewöhnliche Kachelöfen, ferner Oefen aus Ziegelmauerwerk, aus Eisen in Verbindung mit Ziegeln, Oefen mit horizontalen, sowie mit auf- und niedergehenden Zügen, endlich auch Oefen, die eine eigene Heizkammer unnöthig machen, Massenöfen, Röhrenöfen, Mantelöfen.

Die Construction des Massenofens ist sehr alt; über der Feuerung ist eine durchbrochene Decke eingewölbt und der grösste Theil des Ofenraumes über diesem Gewölbe ist mit feuerfesten Steinen angefüllt, so dass Feuer und Rauch durch diese Steinmassen fliessen, dieselben erhitzen müssen. Ist das Feuer erloschen, so wird die Oeffnung, durch welche der Rauch abfloss (die Rauchröhre), geschlossen und eine andere Röhre geöffnet, durch welche nun, wie man sich gewöhnlich ausdrückt, die „Wärme“ nach dem zu heizenden Raume empordringen muss. In der That wird die kalte Luft aus jenem Raume herabsinken, alsdann, durch die ihr von den erhitzten Steinen abgegebene Wärme specifisch leichter geworden, von der beständig herabfliessenden kälteren Luft emporgehoben werden. Es entsteht also auf diese Weise die Circulationsheizung mittels eines einzigen Kanals, oder auch, es fliesst nach dem Princip der Ventilationsheizung äussere Luft durch den Ofen in die Zimmer empor. — Solche Massenöfen sind in den Kellern des Ordens-Haupthauses des Schlosses Marienburg zu finden; einer derselben ist nahezu 2 m lang, $^3/_4$ m breit, über 3 m hoch, enthält über 4 cbm Feldsteine und dient zur Erwärmung von vier Räumen mit zusammen ungefähr 1300 cbm Inhalt. Diese Heizeinrichtung, die ohne Zweifel als Luftheizung bezeichnet werden darf, lässt offenbar Vieles zu wünschen übrig.

Bei dem älteren Röhrenofen sind mehrere gusseiserne Röhren

im Feuerraume so angebracht, dass das Feuer sie umgibt. Die kalte Luft wird an dem einen Ende eingeführt und tritt an dem anderen Ende erwärmt in einen Leitungskanal. Ein solcher Röhrenofen mit 20 Röhren von 1½ m Länge und 15 cm Durchmesser soll einen Raum von mehr als 8000 cbm erwärmen. Dass hier eine ruhige Strömung nicht zu erwarten, dass ferner die Reinigung und Reparatur beschwerlich, mithin häufiges Rauchen und ein brenzlicher Geruch unvermeidlich ist, das sind schon Umstände, die es rechtfertigen, wenn man auf solche Oefen wenig Werth legt.

Bei dem Mantelofen, welcher dazu bestimmt ist, ausserhalb der zu beheizenden Räume stehend, diesen die warme Luft zu liefern, ist die Heizkammer ersetzt oder gebildet durch einen mehrfachen Mantel von Eisenblech, von dessen Decke die Warmluftleitungsröhren ausgehen.

Die erforderliche Grösse des Ofens oder mehrerer Oefen in der Heizkammer ist nach oben gegebenen Regeln, Formeln und Coëfficienten mit Rücksicht auf Luftwechsel und auf Wärmeverluste durch Transmission sorgfältig zu berechnen. Für vorläufige Schätzungen mögen immerhin einfache Erfahrungsregeln dienen. So rechnet man unter gewöhnlichen Umständen für je 50 cbm zu erwärmenden Raum 1 qm Heizfläche, findet jedoch auch auf mehr als 200 cbm Raum nur 1 qm Heizfläche angenommen. Einige Autoren legen auf die Grösse der Heizfläche für die Entwicklung der nöthigen Wärme wenig Gewicht, da man bei der kleineren Heizfläche durch verhältnissmässig stärkere und anhaltendere Beschickung des Ofens nahezu denselben Wärmegrad zu erzielen im Stande sei, wie durch verhältnissmässig schwächere Beschickung des Ofens von grösserer Heizfläche. In welcher Weise aber dieses geschieht, das ist nicht gleichgültig, wenn es sich darum handelt, dass die Strömung mit möglichster Regelmässigkeit von Statten gehe, wenn man eine momentan oder beständig übertriebene Erhitzung der Heizfläche und damit die Luftverschlechterung und die Unannehmlichkeit des brenzlichen Geruches vermeiden will.

Es werden desshalb im Folgenden zuverlässigere Grundlagen für die Bestimmung der Heizfläche gegeben.

Bezeichnet man mit W die stündlich von dem gusseisernen Luftheizungsofen zu liefernde Wärmemenge und mit F die gesuchte Heizfläche des Ofens, so ist unter Voraussetzung einer Nichtstromheizfläche nach §. 197:

$$F = \frac{W}{k\,(T - t)} \text{ Quadratmeter.}$$

Setzt man die mittlere Temperatur im Ofen $T = 180^0$ C., die mitt-

lere Temperatur ausserhalb des Ofens in der Heizkammer $t = 30°$, ferner nach §. 195 für den Wärmeübergang aus Luft durch eine Wand von Gusseisen in Luft $k = 14$, so ist für $W = 100$ Calorien:

$$F = \frac{100}{14\,(180 - 30)} = 0{,}048 \text{ Quadratmeter}$$

wofür man besser $F = 0{,}05$ nimmt; damit ist die Regel begründet, dass man bei Luftheizungen für je 100 Calorien des stündlichen Wärmebedarfs 0,05 Quadratmeter Heizfläche nehmen soll*).

Der Werth $k = 14$ gilt für eine Heizfläche ohne Rippen. Dennoch darf man die vorstehende Berechnung auch für Rippenheizflächen (mit Einrechnung der beiderseitigen Rippenflächen) gelten lassen, weil es zulässig und auch leicht ausführbar ist, den Ofen so viel stärker zu erhitzen, dass die Rippen und Grundplattenflächen die nämliche mittlere Temperatur haben, welche für die rippenlose Fläche vorausgesetzt worden ist. Diese Fläche liesse sich, wenn man nicht mässige Erhitzung des Ofens als Bedingung aufstellen wollte, in viel höherem Grade erhitzen. Nach Redtenbacher dürfte man alsdann für T anstatt 180° sogar 650° C. setzen, wonach man hätte:

$$F = \frac{100}{14\,(650 - 30)} = 0{,}012 \text{ qm};$$

und nach Péclet wäre mit Benützung des für gusseiserne Stubenöfen gegebenen Werthes (S. 647):

$$F = \frac{100}{4000} = 0{,}025 \text{ qm}.$$

Man könnte also bei starker Erhitzung eines rippenlosen Ofens mit der Hälfte und sogar mit dem vierten Theil der oben verlangten Heizfläche auskommen, und auch mit ungefähr der Hälfte bei Rippenheizflächen.

Da bei derartigen Berechnungen die Temperatur der Ofenumgebung einzuführen ist, mögen hier einige Bemerkungen über die Temperatur der Heizkammer, beziehungsweise der aus derselben in die Zimmer strömenden Luft eingereiht werden.

Vorhin wurde die mittlere Temperatur in der Heizkammer zu 30° C. angenommen; das wäre z. B. das arithmetische Mittel von 0° und 60° oder von — 20° und + 80°. Diese Temperaturen 60° und 80° sind zur grösseren Sicherheit der Rechnung etwas hoch gesetzt. Sind sie in der Wirklichkeit nicht so hoch, so darf die Heizfläche geringer sein. Es ist zwar in Bezug auf die Luftbeschaffenheit nach meinen Beobachtungen von keinem Nachtheil, wenn die Luft sogar mit mehr als 80° C.

---

*) Staebe's Preisschrift über Ventilationssysteme, 1878, Anhang §. 6.

in das Zimmer strömt; eine weit höhere Erhitzung der Luft in der Heizkammer würde sogar den Nutzen haben, dass gewisse Verunreinigungen der Luft, seien es Pilze oder Thierchen, welche man als Ursachen mancher Krankheiten ansieht, unschädlich gemacht würden. Allein in Bezug auf grössere Gleichmässigkeit der Temperatur in den verschiedenen Höhen des Zimmers ist es allerdings besser, die Luft weniger warm einströmen zu lassen. Dieses hängt aber mit der stündlich einzuführenden Luftmenge zusammen, also mit dem Kanalquerschnitt und der Einströmungsgeschwindigkeit. Wenn man, wie es zuweilen verlangt wird, die Bedingung erfüllen soll, die Luft mit höchstens 1 m Geschwindigkeit und 50° C. einströmen zu lassen, so kann ein übermässig grosser Kanalquerschnitt nothwendig werden, um das für den Wärmetransport bei strenger Kälte in Anspruch zu nehmende Luftquantum zu fördern. Zudem wäre der bei der Ventilationsheizung damit verknüpfte übermässig starke Luftwechsel in mehrfacher Hinsicht unvortheilhaft.

Die Temperatur, bis auf welche die Luft in der Heizkammer erhitzt werden darf oder soll, lässt sich im Allgemeiuen nicht genau bestimmen; doch wird es bei reichlich grossen Kanalquerschnitten selten nöthig sein, die Temperatur von 80° C. zu überschreiten. Man kann in einer mit der oberen Luft der Heizkammer zweckmässig communicirenden Glasröhre oder hinter einer Glasscheibe ein Thermometer anbringen, oder auch einige Thermometer in verschiedenen Höhen, damit der Heizer annähernd beobachten kann, mit welcher Temperatur die Luft in die Zimmer emporfliesst.

Je weniger ein Ofen erhitzt wird, desto leichter möglich ist das Austreten von Rauch in die Heizkammer durch undichte Stellen des Ofens, besonders an den oberen Theilen. Aus diesem Grunde sind die Ofendichtungen von grosser Wichtigkeit. Bei horizontalen Fugen ist die Anwendung einer angegossenen Rinne am unteren Theil und eines in die Rinne greifenden etwas scharfen Randes am oberen Theil zweckmässig. Solche Rinnen liess ich mit Sand ausfüllen. Den von mehreren Seiten gefürchteten Vorgang, dass der Sand aus der Rinne herausgeblasen werden könne und die Heizkammer verunreinige, habe ich niemals bemerkt, wohl aber den, dass bei aussergewöhnlich starkem Ueberdruck der Sand in den Ofen hineingetrieben, durch die einströmende Luft, sobald für diese an irgend einer Stelle ein Weg gebildet war, immer mehr in den Ofen hineingerissen wurde, so dass die Sandrinne zuweilen leer war. Dieses habe ich später verhindert, indem ich auf den Boden der Rinne etwas Schlackenwolle legen liess, welche durch das Gewicht des daraufgesetzten Ofentheiles so stark zusammengedrückt wurde, dass der

über der Schlackenwolle aufgefüllte Sand nicht mehr in den Ofen entweichen konnte. Der Erfolg dieser einfachen Dichtung ist vollkommen befriedigend; die Sandfüllung über der Schlackenwolle hat sich seit vier Wintern unverändert erhalten und sich auch unter allen Umständen als genügend erwiesen. Ein absolut luftdichter Schluss ist hierbei zwar nicht vorhanden, ein solcher ist aber auch nicht nothwendig. Die Dichtung mit Schlackenwolle und Sand widersteht dem Luftdurchgang bei dem hier vorkommenden grössten Ueberdruck in hinreichendem Masse. Ein willkommener Nebenumstand ist der, dass die Schlackenwolle das beim Anheizen sich in der Rinne sammelnde Condensationswasser, welches beim Verdampfen aussen am Ofen einen schlechten Geruch verbreiten würde, aufsaugt und so lange festhält, bis es nach innen verdampft.

Für Horizontalverlängerungen von Ofentheilen sowie für Heizröhren im Allgemeinen sind Muff- und Flanschenverbindungen von besonderer später zu besprechender Gestaltung geeignet, bei welchen ebenfalls im Innern Schlackenwolle wegen der Wasseraufsaugung zweckmässige Anwendung finden kann, während die eigentliche Dichtung besser durch Asbest, bei Flanschen am besten durch weicheres Metall, durch einen zwischen die Flanschen gelegten Ring von Kupferdraht oder Kupferblech bewerkstelligt wird.

In Bezug auf die Ausnützung der Heizfläche ist es zweckmässig, die Luftheizungsöfen niedrig zu halten und auch die Rauchröhren darin nicht sehr hoch zu führen, im Gegentheil tief, weil in den unteren Schichten der Heizkammer die Luft am kältesten, folglich am meisten geeignet ist, den heissen Verbrennungsproducten Wärme zu entziehen. Je tiefer aber die Rauchröhren herabgeführt werden, desto nothwendiger ist es, vor dem Anheizen nach unterbrochener Heizung den abgekühlten Schornstein rasch erwärmen zu können, was am besten durch einen besonderen kleinen einfachen Ofen geschehen kann, welcher ausserhalb der Heizkammer am Fusse des Schornsteins aufgestellt, mit kleinem trockenem Holz gefeuert wird und durch eine möglichst kurze Rauchröhre mit dem Schornstein in Verbindung steht.

Der Dauerhaftigkeit wegen verdienen gusseiserne Rauchröhren in Heizkammern um so mehr den Vorzug vor solchen aus Eisenblech, weil das Durchrosten oder Durchbrennen unangenehme Störungen veranlassen könnte. Dass auch in Bezug auf Wärmeüberführung gusseiserner Heizflächen denen von Eisenblech vorzuziehen sind, geht aus den obigen Untersuchungen über die Transmission und Emission der Wärme hervor; es folgt aus jenen Mittheilungen auch, dass rauher Guss dem glatten vorzuziehen ist. Wenn in Ausstellungsberichten bei

Beurtheilung von Centralheizungsöfen glatter, sauberer Guss gelobt und rauher Guss getadelt wird, so ist dieses offenbar unbegründet.

Die Rauchröhre soll nicht innerhalb der Heizkammer, sondern ausserhalb in den Schornstein münden. Die Rauchröhrentheile ausserhalb der Heizkammer können von Eisenblech sein, doch ist auch hier der Dauerhaftigkeit wegen Gusseisen vorzuziehen.

§. 230.

Die Wolpert'schen Luftheizungsöfen.

Das Verlangen, die Luftheizung aus eigenen dauernden Beobachtungen gründlicher kennen zu lernen, Luftheizungsöfen zu erproben und überhaupt mehr als in einer Miethwohnung möglich, mit Heizungs- und Lüftungseinrichtungen experimentiren zu können, — dieses Verlangen war hauptsächlich Veranlassung, dass ich mir im Jahre 1871 ein eigenes Haus baute. Ich habe darin in zwei Stockwerken zwei gleiche Wohnungen von je 7 Zimmern u. s. w. eingerichtet, eine Wohnung für meine eigene Familie, die andere zum Vermiethen, um auch die Urtheile von Miethbewohnern über diese Heizung zu vernehmen. Die Miethwohnung ist seitdem in keinem Winter leer gestanden und die Luftheizung wird als ein grosser Vorzug derselben gerühmt.

Jede der beiden Wohnungen hat ihre eigene Heizkammer, die Heizungseinrichtungen sind gleich, aber vollständig unabhängig von einander, und die in beiden gewonnenen Resultate berechtigen mich, die Gesammteinrichtung und speciell die Oefen als vortrefflich zu bezeichnen.

Die beiden Oefen wurden nach dem Princip des in §. 221 dargestellten Röhrenofens ausgeführt, welcher bei der Stubenofenheizung bereits erprobt war. Ich liess an jedem Luftheizungsofen 30 Röhren von 5 cm äusserem Durchmesser anbringen, und zwar diese Röhren bei dem Ofen für den unteren Stock von Gusseisen, bei dem andern für den oberen Stock von Eisenblech, um auch in dieser Hinsicht Versuche zu machen.

Wie zu vermuthen war, heizte der Ofen mit Blechröhren rascher, allein nach dem alsbald beiderseits erfolgten Eintreten des Beharrungszustandes war die Wärmetransmission bei den gusseisernen Röhren besser. Die Leistungen beider Oefen waren zwar gleich befriedigend, doch wurde bei gleicher Benützung im obern Stock, welcher doch wegen des wärmeren Fussbodens leichter zu heizen ist, nahezu das nämliche Brennstoffquantum verbraucht, was damit zusammenhängt, dass bei den

Blechröhren die im Feuerraum entwickelte Wärme weniger gut ausgenützt wurde als bei den gusseisernen.

Ueberdies fingen die Blechröhren im sechsten Jahre an durchzurosten und mussten seitdem mehrfach ausgebessert werden. Darüber wird sich ein Techniker nicht wundern; denn er weiss, dass Eisen nicht nur in lufthaltigem Wasser, sondern auch in wasserhaltiger Luft rostet, also in gewöhnlicher Luft überhaupt. Aber bei Laien ist die Ansicht nicht selten, dass Eisen nur roste, wenn es mit Wasser in Berührung komme, wobei aber nicht an das in der Luft und in den Verbrennungsproducten enthaltene Wasser gedacht wird. So bezeichnet man auch durchgerostete Ofenröhren gewöhnlich als durchgebrannt.

Dass die Blechröhren an dem erwähnten Luftheizungsofen in der That durchgerostet, nicht durchgebrannt sind, ist leicht zu erkennen und geht auch daraus hervor, dass die schadhaften Stellen meistens in grösster Entfernung vom Feuerraume vorkamen, wohin bei der Koksfeuerung, welche hier ausschliesslich zur Anwendung kommt, keine Flamme gelangt.

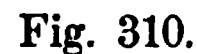
Es ist begreiflich, dass Blechröhren in Heizkammern, die im Kellergeschoss liegen, rascher rosten als in Zimmern, weil die relative Feuchtigkeit der Kellerluft, namentlich im Sommer, viel grösser ist, als die der Zimmerluft. Dieses wird durch Schliessen der Heizkammer für den Sommer nicht verhindert, da auch das Mauerwerk Luft durchlässt und überdies hygroskopisch ist.

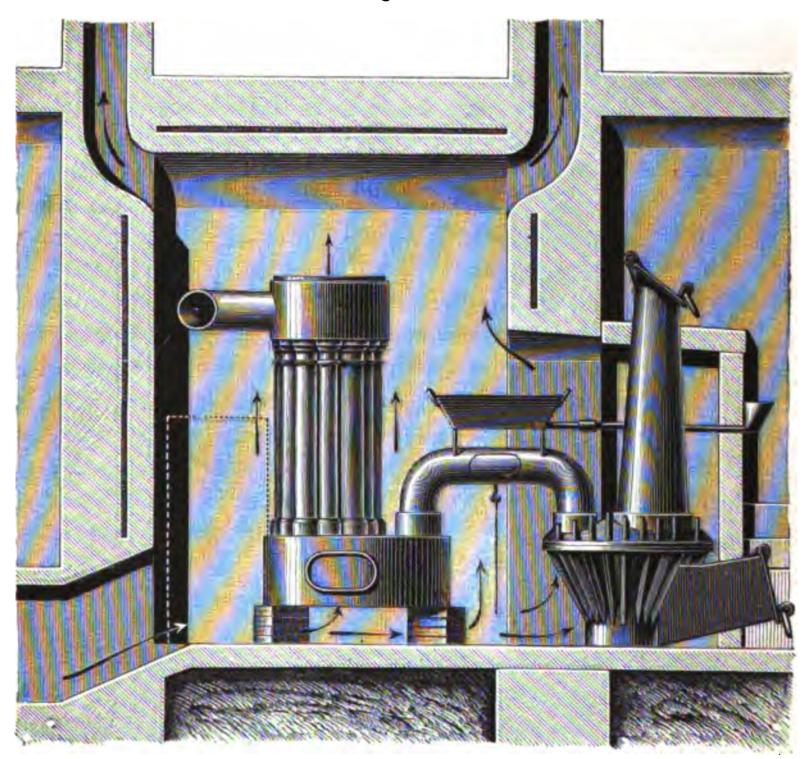
Ich glaube auf solche Umstände hier aufmerksam machen zu müssen, weil häufig die Blechröhren der Wohlfeilheit und leichteren Anbringung wegen den gusseisernen Röhren vorgezogen werden, und nicht darauf Rücksicht genommen wird, dass nach mehreren Jahren die Blechröhren Reparaturen bedürfen, möglicherweise auch die Unannehmlichkeiten und Nachtheile des Rauchens und anderer Störungen veranlassen.

Anstatt der 30 engen Röhren von kreisförmigem Querschnitt wurden bei später ausgeführten Röhrenöfen gleicher Grösse wegen des leichteren Aufstellens, auch seltener nothwendigen und schnelleren Reinigens — namentlich mit Rücksicht auf die mitunter instructionswidrig vorkommende Heizung mit Steinkohlen statt Koks — nur 12 Röhren von grösserem ovalem Querschnitt angebracht.

Ein solcher Röhrenofen ist in Fig. 310 dargestellt. Man wird leicht erkennen, dass ich bei der Construction dieses Ofens den Zweck einer mässigen, continuirlichen Heizung vor Augen hatte. Der Feuerraum ist verhältnissmässig klein, um nur ein kleines Quantum Koks gleichzeitig verbrennen zu lassen; dagegen ist der conische Füllschacht

sehr gross gehalten, damit ein für die nächtliche Unterhaltung des Feuers genügende Koksmenge eingefüllt werden kann. Auf besonderes Verlangen wurde sogar der Füllschacht einmal durch die im Kellergeschoss liegende Heizkammer bis in das Erdgeschoss emporgeführt.


Fig. 310.



Sicherlich ist es einem Jeden einleuchtend, dass die continurliche Heizung für Wohnungen grosse Annehmlichkeiten bietet; aber es liegt auch nahe anzunehmen, es sei eine Verschwendung während der Nacht die Wohnungen eben so warm zu halten wie am Tage. In dieser Annahme wird man bestärkt, wenn man daran denkt, dass die Wärmeverluste durch Transmission und Emission während der Nacht geringer werden, wenn die Räume weniger warm sind. Die hiernach aufgestellte theoretische Berechnung würde geeignet sein von der continuirlichen Heizungsweise abzuschrecken. Allein in der Wirklichkeit kommen mancherlei andere Umstände zur Berücksichtigung. Ich habe hierbei *Wohnungen* im Auge und setze wohlhabende Familien voraus, welche nicht

Lust haben, in ihrer Wohnung an jedem kalten Tage Morgens einige Stunden lang zu frieren, oder dick eingehüllt umher zu gehen, sondern in jedem zu benützenden Zimmer die Temperatur mittels der Heizvorrichtung so lange zu steigern suchen, bis man es warm genug, behaglich findet. Die Temperatur eines Zimmers ist aber nur dann behaglich, wenn nicht nur die Luft darin eine Temperatur zwischen 17 und 20° C. — je nach dem individuellen Bedürfniss — hat, sondern auch die Wände und Gegenstände im Zimmer nahezu dieselbe Temperatur haben. Kühlen sich bei nächtlich ausgesetzter Heizung die Wände bedeutend ab, so muss man Morgens die Luft verhältnissmässig stärker erhitzen, und der Unterschied zwischen den Temperaturen der Luft und der Wände wirkt unangenehm, weil der Körper viel Wärme gegen die kälteren Wände ausstrahlt, ohne ebenso schnell durch die Luftwärme Ersatz zu erhalten, auch die Luft in Kopfhöhe dabei viel wärmer ist als am Boden. Wenn in einem dauernd geheizten Raume ein in der Mitte desselben angebrachtes zuverlässiges Thermometer 18 bis 19° C. zeigt, wird Jeder von normaler Körperconstitution und Gesundheit genügend warm haben, während man bei demselben Thermometerstande noch friert, wenn der Raum längere Zeit vorher bei kaltem Wetter nicht geheizt war. Das ist bei jeder Heizungsmethode so, besonders aber bei der Luftheizung, wo die Wände etc. nicht von den Wärmestrahlen des Heizkörpers getroffen werden und die Luft bei erneuter Heizung mit verhältnissmässig sehr hoher Temperatur eingeführt werden muss.

In Hinsicht auf die Brennstoffökonomie ist zu beachten, dass im Allgemeinen der wirkliche Heizeffect eines Brennmaterials dem theoretischen um so näher kommt, je langsamer geheizt wird. Bei continuirlicher Heizung kann man die Verbrennung so mässigen, dass die Verbrennungsgase mit sehr geringer Wärme durch den Schornstein abziehen, während bei erneuter scharfer Heizung jene viel heisser entweichen.

Meine seit vielen Jahren bei gewöhnlichen Zimmeröfen und bei Luftheizung gemachten Beobachtungen haben in der That ergeben, dass der Brennmaterialverbrauch bei continuirlicher wie bei nächtlich ausgesetzter Heizung unter sonst gleichen Verhältnissen nahezu gleich war, abgesehen von der bei continuirlicher Heizung erzielten Ersparung an Holz u. dgl. zum Anmachen des Feuers.

Dazu kommt noch bedeutende Ersparung an Zeit und Mühe bei der continuirlichen Heizung. Die Besorgung des Ofens für eine Familienwohnung erfordert hierbei durchschnittlich kaum 10 Minuten täglicher Arbeitszeit.

Hat man solche Koks zur Verwendung, deren Rückstand nur in

Asche besteht, so kann man das Feuer beliebig lang, den ganzen Winter über erhalten, braucht nur Morgens und Abends mit einem Feuerhaken über dem liegenden Rost und von unten her durch die Rostspalten ein wenig zu stöchern, dann einige Kannen Koks aufzufüllen und zuweilen die Asche aus dem Aschenfall und Schürhals zu beseitigen.

Ich setze voraus, wie schon öfter an anderen Orten bemerkt, dass in diesem Röhrenofen überhaupt nur Koks gebrannt werden. Bei der wirklich continuirlichen Heizung mit guten Koks genügt die jährlich einmal, also gelegentlich im Sommer, vorgenommene Reinigung des Ofens, da sich in den Heizröhren fast nichts Anderes als Flugasche absetzt, deren Menge, wenn das Feuer selten frisch angemacht wird, sehr gering ist.

Unter solchen Umständen ist es offenbar kein grosser Uebelstand, dass die Heizröhren in der Heizkammer selbst gereinigt werden, was allerdings bei Steinkohlenfeuerung, wobei der Ofen häufiger gereinigt werden müsste und mehr Russ zu beseitigen wäre, von unangenehmen Folgen sein würde.

Für die richtige und bequeme Behandlung des Ofens sind gewisse Geräthe nothwendig, welche hier aufgezählt werden mögen.

Einige Füllkannen. Es ist zweckmässig drei oder mehr Füllkannen zu benützen, diese immer gleich hinter einander zu füllen und neben dem Füllschacht des Ofens aufzustellen, damit man den Deckel des Füllschachts, der nicht lange offen bleiben soll, nicht so oft schliessen und wieder öffnen muss.

Eine Feuerzange, mit welcher die Stäbe des verticalen Rostes ausgehoben und wieder eingelegt, zuweilen auch Schlacken herausgenommen und herausgefallene glühende Koksstücke wieder eingebracht werden.

Ein Schürhaken, am Hakenende zwar stark, aber dünn genug, um mit demselben durch die Spalten des horizontalen Rostes stöchern zu können.

Eine Rostgabel, durch deren Einstecken die Koks im Füllschacht emporgehalten werden; sie soll nicht von Gusseisen, welches leicht abschmilzt, sondern von Schmiedeeisen gefertigt sein, nahezu so breit wie der Schürhals an den beweglichen Roststäben, mit etwa 30 cm. langen Zinken und einem ebenso langen Stiel.

Eine eiserne Hakenstange, mit einem starken kurzen Haken zum Herausziehen der Schlacken versehen, an dem anderen Ende etwas verdickt, um grössere nicht mehr glühende Schlacken zu zerstossen, was oft besser geht als das Zerstechen.

Eine hölzerne Stange, etwa so lang als der Füllschacht, ist

wegen leichter Handhabung zum Hinabstossen der etwa im Füllschacht hängen bleibenden Koksstücke sowie zum Sondiren, wie weit die Füllung hinabgesunken, am besten dienlich; mit brennenden Koks kommt die Stange hierbei nicht in Berührung.

Eine Kitsche oder Kratze, welche an dem einen Ende spitzig, an dem anderen mit einem rechtwinkelig angeschmiedeten breiten Plättchen versehen ist, um nach erloschenem Feuer den Feuerraum gründlich zu reinigen; die Spitze kann dazu dienen, Schlackenstücke, namentlich in glühendem Zustande, zu zerstechen.

Eine gewöhnliche Schaufel oder Schüppe, wie man sie bei Gartenarbeiten u. dgl. hat, um aus dem Aschenfall und Schürhals Asche und Schlacken zn entfernen.

Eine nach dem Querschnitt der Heizröhren geformte Bürste an einem spanischen Rohr für die Reinigung der Heizröhren.

Die Heizung kann mit diesen Geräthschaften sehr wohl von dem weiblichen Dienstpersonal besorgt werden. Die zweckmässige Behandlung des Ofens ist folgende:

Beim Anmachen des Feuers darf man das Holz nicht sparen. Man bringt entweder durch den Schürhals oder durch den Füllschacht ein reichliches Quantum Hobelspäne und kleines trockenes Holz in den Feuerraum, wirft dann noch grössere Holzstücke in den Füllschacht, bis der Feuerraum fast ganz mit Holz angefüllt ist. Auf dieses Holz schüttet man Koks in mässig grossen Stücken bis nahe an den Füllschachtdeckel, welcher dann dicht geschlossen wird.

So ist der Ofen für die Heizung vorbereitet. Sobald man Feuer haben will, zündet man durch den Schürhals die Holzspäne an und schliesst die Heizthür sofort bis auf einen Spalt von etwa Daumendicke. Nach einer Stunde ungefähr ist das Holz verbrannt und die eingefüllte Koksmasse grossen Theils in den Feuerraum hinabgesunken.

Man schliesst, bevor man den Füllschachtdeckel öffnet, die Heizthür gänzlich, füllt den Schacht mit Koks an, schliesst diesen wieder gut und öffnet den Schlitzschieber an der Feuerthür, und zwar wenn man stark heizen will auf eine Fingerbreite, ausserdem weniger. Die den Umständen entsprechende richtige Stellung findet man bald heraus.

Fernerhin ist es für die Unterhaltung des Feuers bei richtig gewählter Ofengrösse nur nothwendig, Morgens und Abends nach dem Ofen zu sehen und Folgendes zu besorgen:

Morgens schöpft man zuerst die Asche aus dem Aschenfall, steckt die Rostgabel etwas schräg nach oben über dem obersten Roststab ein, nimmt die unteren Stäbe heraus und macht den Feuerraum möglichst

frei von Asche und Schlacken. Hierauf legt man die Roststäbe wieder ein, zieht die Rostgabel aus, schliesst die Feuerthür und füllt den Koksschacht. Sollten die Koks so weit hinabgebrannt sein, dass man der Entzündung der neuen Füllung nicht sicher ist, wirft man zuerst einige Holzstücke ein und darauf erst die Koks.

Abends genügt es, wenn die Koks nicht von stark schlackender Beschaffenheit sind, mit dem Feuerhaken durch Stöchern über und unter dem Rost den Feuerraum etwas zu reinigen und die Füllung zu erneuern.

Diese Mittheilungen könnten genügen; doch hat die Erfahrung gezeigt, dass zuweilen Dinge, die als selbstverständlich vorausgesetzt werden, nicht die nothwendige Beachtung finden; desshalb mögen hier noch einige Bemerkungen angereiht werden.

Wenn der Füllschachtdeckel nicht gut geschlossen ist und folglich Luft von oben in den Füllschacht gelangen kann, kommen die Koks im Füllschacht in Brand, was dem Zwecke zuwider ist und eine baldige Zerstörung des Ofens zur Folge haben kann. Man achte also darauf, dass der Füllschachtdeckel immer gut geschlossen wird und nie länger als für das Füllen nöthig offen steht.

Die Beschaffenheit der Koks in Bezug auf Schlackenbildung ist sehr verschieden; doch bilden sich grosse Schlackenmassen leichter bei greller als bei langsamer Heizung, wesshalb man das Feuer mässig und möglichst gleichmässig unterhalten soll. Wenn sich die Schlacken im Feuerraum bedeutend angehäuft haben, thut man zuweilen besser, das Feuer ausbrennen zu lassen und frisch anzumachen, als sich mit der Beseitigung der Schlacken bei Erhaltung des Feuers abzumühen.

Sehr bequem und Zeit sparend ist es, wenn man den Kellerraum, in welchem die Feuerung sich befindet, als Koksraum benützt und die Koks in diesen Raum von der Abladestelle durch eine Kelleröffnung direct einwerfen kann. Bei Neubauten wird man dieses in der Regel erreichen können.

Man sorge dafür, die Koks immer in gut trockenem Zustande zu bekommen; da diese aber stäuben, so muss man die etwa in der Nähe der Abladestelle befindliche Mündung des Luftzuführungskanals schliessen, wenn die Koks abgeladen und in den Keller geworfen werden, damit nicht Koksstaub in den Luftkanal u. s. w. gelangt.

Wie die Reinigung des Ofens mit Benützung der Rohrbürste ausgeführt wird, ist an sich klar; es mag nur noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass man bei jedesmaliger Reinigung, ehe der Deckel des Röhrenofens wieder aufgelegt wird, nachsieht, ob die Sandrinne noch reichlich Sand enthält, eventuell neuen Sand einfüllt und den Deckelrand,

indem man den runden Deckel nach einer Seite hin ein wenig dreht, gut in die Sandrinne drückt. Dass man während der Reinigung des Ofens den Luftzuführungskanal und die Warmluftöffnungen in den Zimmern, sowie etwa vorhandene Klappen in den Warmluftkanälen geschlossen halten soll, braucht kaum erwähnt zu werden.

Was endlich die Wasserverdampfung betrifft, so soll diese nicht beständig unterhalten, sondern von den Bewohnern mittels eines Hygrometers controlirt und regulirt werden. Am besten ist es, dieselbe in jedem Zimmer nach Bedürfniss zu bewerkstelligen, wie an anderer Stelle ausführlicher mitgetheilt wird.

Dass die ganze Behandlung eines solchen Röhrenofens bei Verwendung von Koks sehr einfach und die continuirliche Heizung leicht durchzuführen ist, mag daraus abgenommen werden, dass die verschiedenen Dienstboten meines Miethers ohne Ausnahme auf einmalige mündliche Instruction hin den Ofen richtig und gern bedienten, sich niemals über die Feuerung beklagten, auch bei entsprechender Qualität und Grösse der Koks (mit Ausschluss des gries- und staubförmigen Abfalls) das Feuer gewöhnlich 4 bis 6 Wochen und noch länger continuirlich erhalten. Bei dem Ofen meiner eignen Wohnung ist, da ich, um Beobachtungen zu machen, selbst viel auf die Heizungsweise Acht habe, die continuirliche Unterhaltung sogar schon volle 3 Monate lang gelungen.

Von anderen Seiten ist mir aber mehrfach mitgetheilt worden, dass es schwer gelinge, auch nur einige Tage das Feuer continuirlich zu unterhalten. Dieses hängt mit folgender Veränderung des Ofens zusammen.

Einige Baumeister, welche die ersten Röhrenöfen nach dem meinigen vom Eisenwerk Kaiserslautern bezogen, fanden es entweder umständich für die Ausführung, dass wegen des verticalen Füllschachtes eine Vormauerung an der Heizkammer nothwendig war, oder sie fanden dieses Vorgelege unzweckmässig wegen vergrösserter Wärmeabgabe an den Kellerraum, oder sie hielten den Umstand für unbequem, dass man auf eine Erhöhung treten musste, um den Ofen zu füllen.

Desshalb wurde die Construction dahin abgeändert, dass an Stelle des verticalen hohen Füllschachtes ein schräger und nicht so langer Füllhals kam, welcher wie bei dem folgenden Strahlenraumofen (Fig. 311) eingemauert wurde. Die Koksmenge, welche ein solcher Füllhals fasst, ist zu gering, um für die Nacht auszureichen, wenn nicht etwa gegen Mitternacht und in früher Morgenstunde wieder gefüllt wird, was bei Wohnungen, in welchen die Feuerung von einer Dienstmagd besorgt wird, nicht leicht zu erreichen ist.

Wenngleich alsdann die Verbrennung und Wärmeentwicklung keine

continuirliche mehr ist, so bleibt doch in Folge der Wärmereservation die Heizung der Zimmer eine nahezu continuirliche, wenn man etwa um 9 Uhr Abends noch einmal füllt und Morgens um 6 Uhr wieder Feuer macht, was dem Dienstpersonal doch wol zugemuthet werden kann.

Ich ziehe aber — abgesehen von der immerhin bequemeren und angenehmeren continuirlichen Verbrennung — den vertical stehenden Füllschacht schon desshalb vor, weil Stopfungen in diesem, wenn man nicht allzu grosse Koksstücke einfüllt, gar nicht vorkommen, zuweilen dagegen bei dem schrägen Füllhals, und zwar um so leichter, je grösser die Abweichung von der verticalen Stellung ist.

Ein weiterer Nutzen der ursprünglichen Einrichtung besteht gerade in der erwähnten Vormauerung, indem die nahezu horizontale Decke derselben einen zum Trocknen von Holz vorzüglich geeigneten warmen Platz bietet. Man kann daselbst, wenn auch das Holz feucht ins Haus kommt, immer einen reichlichen Vorrath getrockneten Holzes in Bereitschaft haben, und zwar nicht nur für den Luftheizungsofen, in welchem hierbei selten das Feuer frisch angemacht zu werden braucht, sondern auch für die Küchenfeuerung.

Als Unvollkommenheiten dieses Röhrenofens sind zu bezeichnen:

1) Er besteht aus so vielen Theilen, hat folglich so viele Fugen, dass die Aufstellung und das Verstreichen der Fugen umständlich ist und in Folge dessen nicht immer so sorgfältig geschieht, wie es geschehen muss, wenn man gegen das Rauchen bei ungünstigen Verhältnissen sicher sein will.

2) Der Ofen heizt, da er für continuirliche Heizung construirt ist, nicht sehr rasch. Wenn nun, wie es oft geschieht, das Feuer nur bis gegen Abend erhalten und am anderen Morgen erst spät Feuer gemacht, alsdann aber die Feuerung übermässig forcirt wird, so werden durch die Einwirkung der stark strahlenden Hitze im Feuerraum auf eine verhältnissmässig kleine Umgebung die Wandungen und der Deckel des Feuerraumes glühend und alsbald durchgebrannt; das gilt für den Deckel des Feuerraums um so mehr, weil er als eine nach oben gerichtete nahezu horizontale Heizfläche wenig von kühler Luft bespült, folglich wenig entwärmt wird (§. 195).

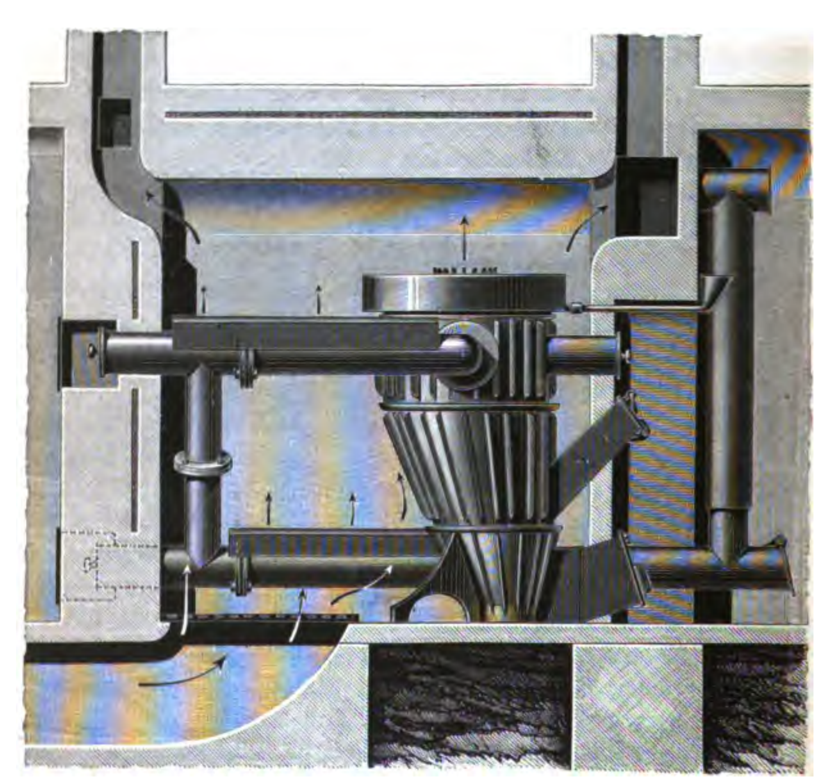
3) Häufig werden, obgleich der Ofen in der Absicht, nur Koks zu brennen, angeschafft worden ist, Steinkohlen anstatt Koks verwendet, und dann sind die engen Röhren bald so mit Russ besetzt, dass die Wärmeabgabe bedeutend geschwächt ist und eine in der Heizperiode störende Reinigung des Ofens nothwendig wird.

4) Die Reinigung des Ofens in der warmen Heizkammer ist lästig. Aber auch da, wo bei Koksfeuerung die Reinigung im Sommer genügt und alsdann diese in der Heizkammer selbst vorzunehmende Arbeit nicht als wesentlicher Nachtheil bezeichnet werden kann, ist es der Reinlichkeit wegen immerhin besser, wenn zum Zwecke des Reinigens die Heizkammer nicht betreten zu werden braucht.

Diese Rücksichten haben mich bestimmt, die Construction des in §. 222 beschriebenen Strahlenraumofens auch auf Luftheizungen anzuwenden (Fig. 311).

Ich benütze einen solchen, während der Röhrenofen meines Miethers noch wie im Jahre 1871 im Gebrauch ist, in der Heizkammer meiner

Fig. 311.



Wohnung zur Probe jetzt im vierten Winter und finde die Leistungen beider Oefen gleich gut. Ein wesentlicher Unterschied besteht aber darin, dass der Strahlenraumofen sich weniger für die continuirliche Hei-

zung eignet, selbst wenn man den Füllhals viel grösser machen würde. Man kann mit demselben die gleich langsame Verbrennung wie bei dem ursprünglichen Röhrenofen nicht erreichen, dagegen viel rascher anheizen, und dieser letztere Umstand wird in der Regel als wichtiger betrachtet.

Der Heizeffect war bei den beiden Oefen auch in dem gegenwärtigen strengen Winter (December 1879 und Januar 1880) ohne dass ein Ofen bis zum Glühen erhitzt wurde, immer vollkommen befriedigend und zwar mit verhältnissmässig geringem Brennstoffaufwande. Meine Wohnung enthält 7 Zimmer mit ca. 500 cbm. Davon werden 2 Zimmer selten geheizt, aber doch durch die angrenzenden warmen Räume immer etwas erwärmt, und der geschlossene Vorplatz wie auch die Abtritte sind beständig sehr angenehm warm, während 5 Zimmer mit ca. 400 cbm täglich geheizt und beständig ventilirt werden. Ich habe in den nicht besonders kalten Wintern der Vorjahre immer durchschnittlich 33 kg Gaskoks pro Tag der Heizperiode gebraucht. Der Bedarf in diesem abnorm strengen Winter mag grösser sein. Am 4. October 1879 wurde mit dem Heizen begonnen und dann täglich geheizt. Ein Koksquantum von 34,8 Centner oder 1740 kg hat bis incl. 3. December, also 61 Tage gereicht, das macht pro Tag 28,5 kg. Dann wurden vom 4. bis 28. December, also in 25 Tagen bei aussergewöhnlich starker und anhaltender Kälte 28 Centner = 1400 kg verbrannt, d. i. pro Tag 56 kg; ferner vom 29. December 1879 bis zum 5. Februar 1880 in 39 Tagen bei abwechselnd sehr kaltem und wärmerem Wetter 30,3 Centner = 1515 kg, oder nahezu 39 kg für jeden Tag.

In den hier angegebenen 125 Tagen wurden 4655 kg Koks verbrannt, was auf jeden Tag durchschnittlich etwas über 37 kg ausmacht. Wird nun der noch übrige Theil dieser Heizperiode sehr mild, so ergibt sich der durchschnittliche und Gesammtaufwand an Brennmaterial in diesem Winter nicht viel grösser als in den Vorjahren.

Die Heizfläche des von mir benützten Strahlenraumofens beträgt ohne die zwischen den Rippen angebrachten Strahlenfangbleche ungefähr 8 qm; dieses Grössenverhältniss stimmt mit der in §. 229 angegebenen Erfahrungsregel überein, dass man unter normalen Verhältnissen bei mässiger Ventilation 1 qm Heizfläche für 50 cbm zu heizenden Raum nehmen soll. Der Ofen braucht alsdann auch bei der strengsten Kälte nicht übermässig erhitzt zu werden. Die Kosten eines solchen Ofens belaufen sich auf ungefähr 50 Mark pro Quadratmeter Heizfläche, also bei dem angegebenen Verhältniss auf 1 Mark pro Cubikmeter der zu heizenden Räume.

Bei einem solchen Strahlenraumofen würde, wenn er durch eine nur kurze Rauchröhre mit einem gewöhnlichen Schornstein in Verbindung stände, die Wärme zu wenig ausgenützt. Man wird also diese einfachste Einrichtung nur dann mit Vortheil in Anwendung bringen, wenn man Gelegenheit hat, die abgehende Wärme in anderer Weise nutzbar zu machen, etwa zur Erwärmung eines Ventilationsschornsteins in der Weise, dass man die gusseiserne Schornsteinröhre in der Mitte eines viel weiteren Schornsteins, welcher die Luft mehrerer Räume abzuleiten hat, emporführt, oder indem man die gusseiserne Schornsteinröhre zur Erwärmung von Vorplätzen oder eines Treppenhauses benützt.

Je weniger die Schornsteinwärme in solcher Weise ausgenützt wird, desto mehr ist es zweckmässig, längere Rauchröhren in der Heizkammer selbst anzubringen. Dieses kann beispielsweise auf die in Fig. 311 angedeutete Art geschehen. Die Röhren sind von Gusseisen angenommen und nahe am Boden nach aussen geführt. Am tiefsten Röhrentheile befindet sich aussen eine Klappe, eine Oeffnung schliessend, durch welche man, wenn der Schornstein zu kalt geworden ist und desshalb für das Anheizen nicht genügend Zug hat, brennende Hobelspäne einbringt, bevor man das Holz im Ofen selbst anzündet. Diese in der Heizkammer herumgeführten Rauchröhren können, wie leicht ersichtlich, vollständig ausserhalb der Heizkammer gereinigt werden.

Bei Anwendung solcher gusseisernen Heizröhren ist auf die durch Temperaturerhöhung erfolgende Ausdehnung Rücksicht zu nehmen. Da der Ausdehnungscoefficient des Gusseisens zwischen 0 und 100° C. für jeden Grad 0,000010 bis 0,000011 ist, so wird eine gusseiserne Heizröhre, welche bei 0° die Länge L hat, bei 100° C. wenigstens die Länge haben:

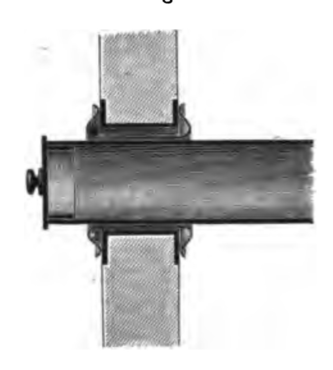
$$L_1 = L\,(1 + 0{,}00001\,.\,100) = 1{,}001\,L.$$

Sie wird also für jedes laufende Meter um wenigstens 1 Millimeter länger, wenn ihre Temperatur auf 100° steigt, demnach eine 2 m lange Röhre bei 300° C. um 2 . 3 = 6 Millimeter, oder noch etwas mehr, weil der Ausdehnungscoefficient schon unter 100° etwas grösser sein kann und die Zunahme der Ausdehnung bei höheren Temperaturen grösser ist als die Temperaturerhöhung.

Eine Heizröhre wie die obere (in Figur 311), welche einerseits mit dem Ofen fest verbunden ist, andererseits in der Mauer liegt, muss, wenn die Verbindung der einzelnen Theile eine steife ist, an letzterer Stelle sich vertical und horizontal bewegen können. Für die untere Röhre würde die Ermöglichung einer kleinen horizontalen Verschiebung genügen können, doch mag an beiden Stellen die gleiche Vorrichtung angebracht

werden, für welche ausser der Beweglichkeit nach beiden Richtungen guter Abschluss der Heizkammer Bedingung ist. Dieses wird für die grössten vorkommenden Temperaturunterschiede in der durch Fig. 312 dargestellten Weise zu erreichen sein.

Fig. 312.



Das Röhrenende liegt in einer doppelten Büchse; die äussere Büchse, welche eingemauert wird, kann von Gusseisen, Eisenblech oder Kupfer angefertigt werden; sie ist so weit, dass in ihr die Hebung unter allen Umständen genügend erfolgen kann. Die innere Büchse ist von dünnem Kupferblech und so gestaltet, dass sie durch Federung in jeder Lage guten Schluss bildet und zugleich nach beiden Richtungen leicht beweglich ist. Die horizontale Verschiebung der Röhre kann auch innerhalb der Kupferbüchse stattfinden, da letztere sich bei einer nahezu gleichen Temperaturerhöhung etwas mehr als die Eisenröhre ausdehnt; doch ist dieses hier unwesentlich.

Die Ineinanderfügung der Theile betreffend wird es am besten sein, dass die zu vermauernde Büchse aus zwei mit horizontaler Fuge zusammengesetzten Hälften besteht, deren richtige gegenseitige Lage durch vier kleine Stifte gesichert werden kann.

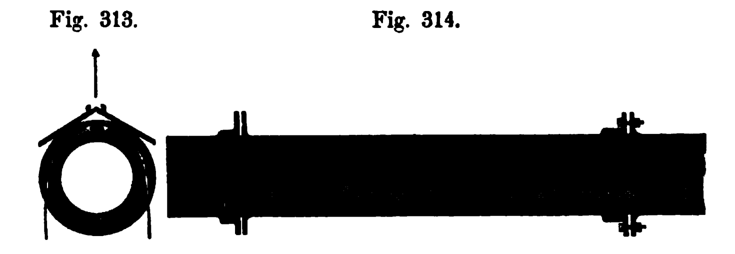
Die gleiche Einrichtung würde auch an der kurzen Röhre, welche über dem Füllhals nur dieser Besprechung wegen gezeichnet ist, zweckentsprechend sein, wenn da etwa die Rauchröhre nach dem Schornstein weggeführt werden sollte, oder wenn man diese kurze Röhre zum Zwecke der Reinigung des Ofens beibehalten wollte. Doch ist diese Röhre zu letzterem Zwecke nicht nöthig, da vermuthlich der Strahlenraumofen selbst nie gereinigt zu werden braucht, und wenn das Reinigen dennoch vorgenommen werden soll, es von unten her mittels eines Besens geschehen kann, wofür im Schürhals nach Herausziehung des Schiebrostes ein genügend grosser Raum vorhanden ist.

In Fig. 311 sind die Röhren ohne die federnde Büchse dargestellt. Wenn die Heizung, wie es bei Wohnungen vortheilhaft ist, mit nur geringen Unterbrechungen und mässig betrieben wird, und wenn überdies der Kaltluftkanal nahe unter den Röhren einmündet, wird es genügen, die Röhren mit einem kleinen Spielraum in eine gewöhnliche etwas weite Mauerbüchse zu legen, worin die horizontale und geringe verticale Bewegung erfolgen kann. Der Spielraum zwischen Röhre und Büchse darf

vorhanden sein, wenn die Maueröffnung aussen durch ein starkes Blechthürchen oder eine Klappe u. dgl. gut geschlossen wird.

Zur besseren Nutzbarmachung der Wärme an den oberen Hälften horizontal oder geneigt liegender Heizröhren, deren obere Theile nach §. 195 an sich schlechte Heizflächen sind, dient eine Ueberdachung von Eisenblech, welche in Fig. 311 angedeutet und in Fig. 313 deutlicher im Querschnitt dargestellt ist. Fig. 314 zeigt ferner eine Verbindungsweise solcher gusseisernen Röhren; als Dichtungsmittel kann

Fig. 313. Fig. 314.



zwischen die Flanschen ausserhalb der Schraubenbolzen ein Ring von Asbest oder Kupfer eingelegt werden, und innerhalb der Schraubenbolzen wird man zweckmässig Schlackenwolle einlegen, so viel die Dicke der Asbestpackung gestattet. Bei Kupferdichtung bleibt die Schlackenwolle weg.

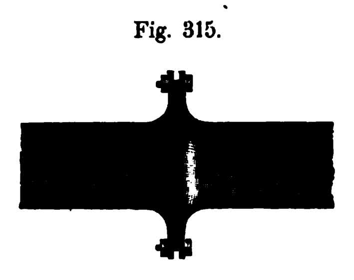
Röhrenverbindungen wie Fig. 314 werden in manchen Fällen, namentlich an Heizröhren eines Strahlenraumofens bei Koksfeuerung, zweckdienlich sein. Aber die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass wie an gewöhnlichen Flanschenverbindungen bei sehr rascher und bedeutender Temperatursteigerung, also schon leichter bei Anwendung von Steinkohlen, ein Riss entsteht, indem die Temperaturerhöhung früher in den Röhrentheilen neben den Flanschen als in den Flanschen selbst Ausdehnung bewirkt.

Bei Anwendung der Kupferdichtung ist eine Gestaltung der Röhrenenden nach Fig. 315, wobei diese mit allmählicher Erweiterung in schmale Flanschen übergehen, aus dem angegebenen Grunde und auch wegen grösserer Einfachheit vorzuziehen.

Noch zweckmässiger wird es mitunter sein, diese steifen Verbindungen durch bewegliche, biegsame, zu ersetzen, welche zugleich als Compensatoren der Längenausdehnung dienen. So könnte etwa eine federnde Büchse von dünnem Kupferblech nach Fig. 316 geeignet sein, welche an den einfachen aber glatt bearbeiteten Röhrenenden durch eiserne Spannbänder festgehalten wird. Um die Ausfüllung des Büchsenraumes mit Flugasche und Russ zu verhüten, kann die Erweiterung durch eine

gewöhnliche cylindrische Büchse von Kupferblech geschlossen werden, wodurch auch die Montirung erleichtert wird. Fig. 317 zeigt eine solche Compensationsbüchse von etwas anderer Form in der Ansicht; die Herstellung dürfte bei dieser Form leichter sein.

Fig. 315.



Ich will nicht unterlassen beizufügen, dass ich von Heizröhren in der bei Figur 311 angedeuteten Weise noch keinen Gebrauch gemacht habe, eben so wenig von den dargestellten Verbindungsweisen, Verschiebungs- und Compensationsvorrichtungen, dass ich daher kein auf Erfahrung gegründetes Urtheil darüber abgeben kann.

Fig. 316.



Fig. 317.



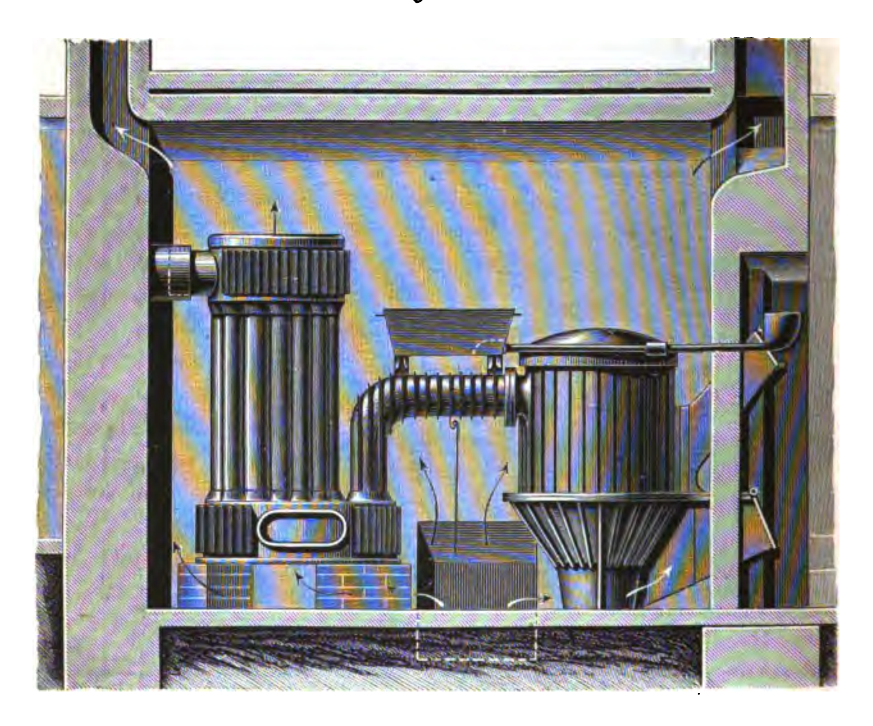
Eine besondere Vorkehrung wegen der Ausdehnung des Gusseisens hat sich bei den von mir selbst benützten Oefen weder am verticalen Füllschacht noch am schrägen Füllhals als nothwendig erwiesen, während an anderen Orten, wo die Feuerung übermässig forcirt wurde, am Mauerwerk über dem Füllhals kleine Risse entstanden sein sollen, die jedoch keinen erheblichen Nachtheil im Gefolge hatten.

Scheut man den Umstand nicht, dass die Reinigung des Ofens in der Heizkammer selbst vorgenommen wird, so empfiehlt sich die Verbindung des Strahlenraumofens mit dem Röhrenofen in der Weise, wie in Fig. 318 dargestellt.

Da es zweckmässiger ist, eine grosse Menge Luft auf mässige Temperatur zu erhitzen, als eine verhältnissmässig geringe Luftmenge auf hohe Temperatur, wenngleich die schliesslichen Mischungstemperaturen die nämlichen wären, so werden überall zwischen den grösseren und heisseren gusseisernen Heizflächen Strahlenfangbleche angebracht; so zwischen dem Feuerkasten und Röhrenofen, zwischen den einzelnen Röhren und in den inneren Lufterwärmungscylindern des Röhrenofens, auch zwischen den Rippen des Strahlenraumofens,

Es mag noch beigefügt werden, dass gegen das Durchbrennen der Feuerkästen durch sehr dicken Guss gehörige Vorsorge getroffen wird, ferner gegen das Springen durch Umlegen eines starken schmiedeeiser-

Fig. 318.



nen Ringes am oberen Ende des Heizkastens. Dessenungeachtet ist es möglich, in kurzer Zeit die Oefen durchzubrennen, wenn man die Heizung übermässig forcirt. Der Feuerkasten kann ferner trotz des umgelegten Ringes springen, doch schadet ein feiner Riss nicht, und gegen die nachtheilige Erweiterung eines solchen schützt der Schmiedeeisenring.

Wo man einer mässigen Benützung nicht sicher ist — so in Schulen, Kirchen und anderen öffentlichen Gebäuden mit oft unterbrochener und dann stark forcirter Heizung — wähle man lieber solche Oefen, deren Feuerkästen ausgemauert oder gänzlich aus feuerfestem Mauerwerk hergestellt sind. Ausserdem aber, namentlich für die Anwendung in Wohngebäuden, ziehe ich die einfachen gusseisernen Feuerkästen aus folgenden Gründen vor:

1) Die Reduction der Kohlensäure zu Kohlenoxyd ist in gusseisernen Feuerkästen geringer, also die Verbrennung vollkommener. (§. 176).

2) Die gusseisernen Wände des Feuerkastens bieten eine vorzüglich gute Heizfläche.

3) Die Herstellung gemauerter Feuerkästen ist umständlicher und wird nicht immer gleichmässig gut bewerkstelligt.

4) Auch die gemauerten Heizkästen werden mit der Zeit schadhaft, und die Erneuerung eines solchen geht nicht so rasch, reinlich und leicht von Statten wie die Erneuerung eines gusseisernen Feuerkastens.

5) Ist der Feuerkasten nicht gänzlich aufgemauert, sondern aus Gusseisen und nur mit feuerfestem Thon ausgesetzt, so wird diese Thonmasse nach und nach mit den Schlacken losgerissen, und wenn die Reparatur, wie es gewöhnlich geht, nicht frühzeitig genug vorgenommen wird, so brennt doch auch der gusseiserne Feuerkasten durch.

Die hier beschriebenen Oefen werden vom Eisenwerk Kaiserslautern in verschiedenen Grössen angefertigt, doch nicht in so vielen, dass die vorhandene Heizfläche immer der für einen bestimmten Fall nothwendigen genau entspricht. In solchen Fällen wird man besser den nächst grösseren als den nächst kleineren Ofen nehmen oder bei dem kleineren Ofen längere Rauchröhren benützen, oder auch zwei oder mehrere gleich oder verschieden grosse Oefen aufstellen. Ueberhaupt ist es räthlicher, die Heizfläche etwas zu gross zu nehmen als zu klein, da eine Mässigung der Wärmeentwicklung leicht zu bewerkstelligen ist, eine Forcirung dagegen oft Nachtheile im Gefolge hat. Es ist in dieser Hinsicht auch zu bemerken, dass die Leistungsfähigkeit mittelgrosser Oefen gleicher Construction in der Regel verhältnissmässig besser ist, als die sehr grosser. Es ist folglich sogar zweckmässiger, in eine Heizkammer 2 oder 3 Oefen zu stellen, wie es auch bereits bei Anwendung dieser Oefen vor mehreren Jahren, als die grösseren noch nicht ausgeführt waren, geschehen ist. Wichtig ist es aber, zwischen den einzelnen Oefen Strahlenfangbleche anzubringen.

Die Anwendung von beispielsweise zwei Oefen in einer Heizkammer bietet auch die Vortheile, dass man bei gelindem Wetter nur in einem kleineren Ofen mit besserer Ausnützung der kleineren Brennstoffmenge feuern kann, während man bei strenger Kälte beide benützt; ferner dass man immer den einen zum Anzünden vorbereitet halten und das Feuer anzünden kann, wenn man dieses in dem andern, um ihn gründlich von Asche und Schlacken zu reinigen, ausgehen lässt; endlich dass, wenn der eine Ofen schadhaft geworden sein sollte, man doch noch den ande-

ren zur Benützung hat, folglich die Ofenreparatur keine gänzliche Unterbrechung der Heizung veranlasst.

§. 231.

Kanäle für Zuleitung warmer Luft.

Durch die Wahl des Materials und die Anlage selbst ist dafür zu sorgen, dass die Warmluftkanäle nicht feuergefährlich werden und die in der Heizkammer erwärmte Luft ohne grossen Wärmeverlust in die Benützungsräume leiten. Aus letzterem Grunde soll das Röhrenmaterial kein grosses Wärmeleitungsvermögen besitzen. Nachhaltigkeit der Wärme ist zwar in der Regel erwünscht, starke Ueberleitung der Wärme an das die Röhre umgebende Mauerwerk jedoch ist schon wegen verzögerter Anheizung gewöhnlich dem Zwecke zuwider. Metall ist folglich nicht für Warmluftröhren geeignet, würde vielleicht auch schon wegen der guten Schallleitung zu vermeiden sein.

Alle brennbaren Materialien sind bei der Warmluftleitung selbst und aus deren unmittelbarer Nähe zu verbannen; namentlich ist alles Holzwerk durch gehörige Schichten Mauerwerk von den Warmluftkanälen zu trennen.

Glas wäre vermuthlich ein sehr zweckmässiges Material, wenn nicht auf dessen sprichwörtlich bekannte Eigenschaft und auf den Kostenpunkt Rücksicht zu nehmen wäre. Da man übrigens bereits Platten von Hartglasguss herstellt, welche sehr dauerhaft und nicht allzu kostspielig sind, so werden mit der Zeit auch Glaskanäle in Anwendung kommen.

Vorläufig bleiben die Kanäle aus Stein- oder Thonmasse anzuwenden. Die Warmluftkanäle werden in massiven Mittelmauern mit viereckigem oder rundem Querschnitte, etwa mit besonderen Formsteinen aufgemauert und möglichst glatt ausgestrichen, um die Reibung der aufsteigenden Luftsäule an den Röhrenwänden, somit die Verminderung der Geschwindigkeit und den Wärmeverlust möglichst zu verhüten.

Weit besser als diese Anordnung ist jedoch die, Thonröhren, die innen glasirt sind, gleichzeitig mit der Mauer in solcher Weise aufzuführen, dass ein kleiner Luftraum zwischen der Röhre und der Mauer ausgespart bleibt, und die Röhren sich nur mit einem Ansatzringe, dem festen Muff, der von jeder oberen Röhre aussen über die untere abwärts übergreift, an das Mauerwerk anlehnen. Den hohlen Raum in der Mauer rings an den Röhren füllt man wieder mit Sand oder Asche aus.

Die Ansicht, dass einer solchen Ausfüllung eine die Röhre umgebende Luftschicht vorzuziehen sei, braucht nicht nochmals widerlegt

zu werden; da die Erwärmung dieser Luftschicht nicht von oben geschieht, so kann von schlechter Wärmeleitung derselben, überhaupt von einer ruhigen Luftschicht nicht die Rede sein.

Röhren von sogenannten Schwemmsteinen eignen sich ebenfalls sehr gut zu Luftkanälen, da sie sehr porös sind, womit geringe Wärmeableitung zusammenhängt. Ich selbst habe für die Luftheizung meines Hauses solche Schwemmsteinröhren von Neuwied bezogen, habe sie rauh ohne inneren Verputz verwendet und bin vollständig zufrieden damit. Wie es scheint reguliren sie auch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft in ziemlichem Grade, was sich leicht erklären lässt, da sie viel Feuchtigkeit aufnehmen können, solche aber auch leicht wieder abgeben. Dass sie für Rauchschornsteine sich nicht eignen, weil sie dort die schmutzige und übelriechende Russflüssigkeit aufsaugen und Flecken an den Wänden veranlassen, damit hat die vorliegende Anwendung nichts Nachtheiliges gemein.

In Bezug auf die hier erwünschte Eigenschaft, Feuchtigkeit aufzunehmen, sind die hier empfohlenen Materialien sehr verschieden. Die Extreme bilden in dieser Hinsicht Glas- und Schwemmsteinröhren; erstere sind gar nicht hygroskopisch, letztere im hohen Grade. Am Glase schlägt sich zwar leicht Feuchtigkeit nieder und adhärirt stark daran, dringt aber nicht ein, verdunstet bei relativ trockener Luft schnell wieder. Ob in dieser Beziehung Schwemmsteinröhren oder Glasröhren, überhaupt hygroskopische oder nicht hygroskopische Kanäle den Vorzug verdienen, wird sich mit Rücksichtnahme auf die specielle Anwendung ergeben. Bei Circulationsheizungen ist das aufgesaugte Wasser mit Ausdünstungsstoffen behaftet und Luftbefeuchtung ist nicht nothwendig; folglich eignen sich da besser die nicht hygroskopischen Materialien. Bei Ventilationsheizungen dagegen ist oft Luftbefeuchtung nothwendig, das Reservationsvermögen der Kanäle erwünscht und das aufgesaugte Wasser, weil nur reine Luft durch diese Kanäle geleitet wird, ebenfalls rein, wenigstens nicht durch die schädlichen organischen Ausscheidungsproducte der Respiration und Perspiration verunreinigt. Demnach eignen sich für die Warmluftkanäle bei Ventilationsheizungen mehr die hygroskopischen Kanäle. Letztere Behauptung darf ich mit um so grösserer Sicherheit auf Grund der Erfahrungen in meinem eigenen Hause aussprechen.

In Bezug auf den Längenschnitt und Querschnitt der Warmluftkanäle findet man folgende zwei Regeln aufgestellt:

1) Die Wärmekanäle solle man nach oben allmählich oder in Absätzen verengt, verjüngt, aufführen;

2) der Querschnitt eines von der Heizkammer abgeführten warmen Hauptkanals sei zweckmässig etwas grösser als die Querschnitte der Nebenkanäle, der Zweigkanäle jenes Hauptkanals zusammen.

Beide Regeln klingen sehr natürlich; weil sich die warme Luft auf ihrem Wege nach oben abkühlt, so muss sie dieser Abkühlung proportional ein geringeres Volumen einnehmen. Diese Volumenverminderung ist aber bei der Bewegung mit einiger Geschwindigkeit nicht erheblich. Die Verjüngung liesse sich nur schwierig auch nur den gewöhnlichsten Fällen genau entsprechend ausführen, wenn sie sich auch unter bestimmten Annahmen genau berechnen liesse. Es zeigt sich aber, dass man bei Befolgung solcher Regeln häufig des Guten recht viel thun will, und auf diese Art schlimme Verstösse begeht. Dass auch in hydrostatischer oder aërostatischer Beziehung durch die oben verengte Röhre kein Vortheil, sogar durch die Erweiterung kein Nachtheil herbeigeführt würde, lehrt das hydrostatische Paradoxon (§. 14), nach welchem der Druck einer Flüssigkeit auf den Boden des Gefässes derselbe ist, wenn nur die Flüssigkeit, die Höhe ihres Spiegels über dem Boden und die Grösse des Bodens gleich sind, mag ausserdem das Gefäss irgend eine Form haben. Dass übrigens im vorliegenden Falle eine Erweiterung nicht anzurathen ist, geht aus früheren Untersuchungen über die Leitung relativ verdünnter Luft in Röhren hervor. Durch die nach oben verengte Röhre begründet man aber, wenn die Verengung zu bedeutend ist, den nachtheiligen Umstand, dass die warme Luft nicht mehr ungehindert emporgehoben werden kann, eine erhöhte Reibung an den Röhrenwänden erfährt und auf diese Weise viel von ihrer Wärme verliert. Man wird demnach am besten thun, wenn man als Regel festhält: die Warmluftkanäle sollen mit parallelen Wänden aufgeführt werden.

Nun in Hinsicht auf die zweite Regel. Die gegenseitige Lage der Kanäle mag vorerst beliebig sein. Ist der Hauptkanal von grösserem Querschnitt als die Nebenkanäle zusammen, so ist allerdings dafür gesorgt, dass beständig ein Vorrath warmer Luft des Ueberströmens an den Mündungen der Nebenkanäle harrt, dass sich der Luftstrom an dieser Stelle staut. Zufolge der Fortpflanzung des gleichen Druckes ist (gleiche Höhen- und Temperaturverhältnisse vorausgesetzt) die Geschwindigkeit in allen Röhrentheilen gleich gross, so lange der sich bewegenden Luft immer ein gleicher Querschnitt dargeboten ist, während bei Verengungen ebenfalls keine grössere Geschwindigkeit entstehen kann, als die aus dem constant resultirenden Drucke erfolgende. An den weiteren Stellen muss aber alsdann die in der Zeiteinheit hin-

durchströmende Luftmenge ebenso gross, die Geschwindigkeit folglich geringer sein. Es wird also auch hier, wie bei der oben verengten Röhre, das Weiterströmen der warmen Luft gehemmt, was zugleich auch grösseren Wärmeverlust zur Folge hat. Dagegen ist es doch vortheilhaft, dass der Reibungswiderstand in dem weiten Kanale in Folge der geringeren Luftgeschwindigkeit vermindert wird. Dieser Umstand kann bei sehr langen, namentlich wenig ansteigenden oder gar horizontalen Kanälen von Wichtigkeit sein. Bei gewöhnlichen Verhältnissen jedoch ist es wenigstens nicht nothwendig, dem Hauptkanal einen grösseren Querschnitt zu geben als die Summe der Querschnitte der Zweigkanäle. Man wird demnach als Regel — jedoch nicht ohne Ausnahme — annehmen dürfen, dass der Luftstrom nicht gezwungen werden soll in einen engeren Raum oder auch nur durch eine Verengung zu fliessen. Unzweckmässiger als eine übergrosse Weite des Hauptkanals wäre offenbar dessen zu geringer Querschnitt, da alsdann die darin geleitete Luftmenge sich nicht gleichmässig in die Zweigkanäle vertheilen würde; und in dieser Hinsicht rechtfertigt es sich, den Hauptkanal lieber etwas weiter als nothwendig zu machen.

In Bezug auf horizontale Leitungskanäle, Hauptkanäle, von welchen verticale Nebenkanäle, Steigkanäle ausgehen, wird auch die Behauptung aufgestellt, dass der Querschnitt des Hauptkanals so gross sein müsse, wie die Summe der Steigkanäle, die jedoch hiefür sämmtlich auf denjenigen Querschnitt reducirt in Rechnung zu bringen seien, welche sie haben müssten, um die gleich grosse Luftmenge in das unterste Stockwerk zu leiten, weil die Geschwindigkeit im horizontalen Hauptkanal nicht grösser sei als in dem am tiefsten ausmündenden Steigkanale. Dieses wird sich weder theoretisch, noch in der Wirklichkeit nachweisen lassen. Nach theoretischer Betrachtung könnte sogar ein geringerer Querschnitt zulässig sein, als derjenige, welcher sich direct nach der einfachen Addition entziffert. Hat der Hauptkanal einen Querschnitt, welcher genau eben so gross ist wie die Querschnittssumme der Zweigkanäle, so ist die Geschwindigkeit im Hauptkanal bei constanter Temperatur die mittlere der Geschwindigkeiten in den Zweigkanälen (mit Rücksicht auf die einzelnen Grössen der Luftquerschnitte). Bei grösserer Hauptkanalweite ist die Geschwindigkeit darin verhältnissmässig geringer, bei kleinerem Querschnitt kann sie grösser werden und zwar bis zu dem möglichen Maximum, für welches das arithmetische Mittel der gegebenen Druckhöhen massgebend sein wird. Diese mittlere Druckhöhe ist grösser als die Druckhöhe der mittleren Geschwindigkeit (§. 31). Es kann also die Geschwindigkeit im Hauptkanal etwas grösser

werden als die mittlere Geschwindigkeit in den Steigkanälen, folglich würde ein etwas kleinerer Querschnitt als die Summe der Steigkanalquerschnitte für den Hauptkanal genügen können. Indessen ist wol zu unterscheiden, was theoretisch zulässig und praktisch besser ist. Unstreitig zweckmässig ist es, den horizontalen Hauptkanal so weit zu machen, dass ein Mann durch ihn schlüpfen und ihn dabei reinigen kann. Zu diesem Zwecke genügen aber bei einem horizontalen Kanale nicht die Dimensionen wie bei einem steigbaren Schornstein, nämlich 45 cm im Quadrat. So gross kann allerdings die Querschnittsbreite angenommen werden, aber die Höhe muss wenigstens 60 cm betragen.

Die Abzweigung verschieden langer Steigkanäle betreffend ist es ferner aus nahe liegenden Gründen zweckmässig, die Steigkanäle um so näher der Heizkammer anzubringen, je weniger hoch sie emporgeführt werden.

Ob man für die Zuleitung der warmen Luft nach einem Raume einen oder mehrere Kanäle anwendet, das wird sich nach den speciellen Zwecken und der Grösse des Raumes bestimmen lassen. Mit Bezugnahme auf die Anzahl der Personen, die Art der Beleuchtung, die Temperaturdifferenzen, auf die Zeit, in welcher die Auswechselung oder Erwärmung der Luft stattfinden soll, — lassen sich die Querschnitte der Kanäle, wie oben angedeutet wurde und in §. 240 eingehender gezeigt werden soll, berechnen. Die zu Grunde liegende Näherungs-Gleichung für die Geschwindigkeit der Strömung in der Secunde ist mit Rücksicht auf die Hindernisse der Bewegung folgende:

$$c = 0,5 \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}}$$

Ein passender Querschnitt für die Kanäle in Bezug auf die bequeme Ausführung derselben, und auch den meisten Bedürfnissen entsprechend, ist das Mass zwischen 200 und 1000 qcm, sowohl für gemauerte Kanäle wie für Schwemmsteinröhren und Thonröhren.

Zu bemerken ist hier, dass die vorerwähnten Regeln hauptsächlich für die Ventilationsheizung gelten, dass dagegen für die Circulation die verschiedene Weite der Nebenkanäle, der Kanäle überhaupt in einem Stockwerke von geringerem Einflusse ist. So lange nämlich die Luft in irgend einem von den durch dieselbe Heizkammer verbundenen Räumen eines Stockwerks (folglich auch in dem Ableitungskanale der kälteren Luft dieses Raumes nach der Heizkammer) kälter ist als in den übrigen, ist der Druck gegen die Luft in der Heizkammer in dem kalten Kanale dieses Raumes grösser, die kalte Luft fliesst hier schneller, also in verhältnissmässig grösserer Menge hinab zur Heizkammer. Um so grösser

müsste also auch der oben freiwerdende Raum, und muss bei gut geschlossenen Zimmern die Verminderung des Druckes gegen die Mündung des warmen Kanals werden, um so schneller muss also die warme Luft daselbst einfliessen. Es reguliren sich also auf diese Art während der Circulationsheizung die Luftströme und die Temperaturen in gleichem Horizont von selbst. Dieses ist nicht etwa eine blos theoretische Aufstellung, es ist eine praktisch constatirte Thatsache.

§. 232.

Leitungssysteme der warmen Luft.

Um Räume mehrerer Stockwerke aus einer Heizkammer zu heizen, ist die Leitung häufig in der Weise angelegt, dass ein verticaler Hauptkanal die erwärmte Luft in die verschiedenen Stockwerke führt und horizontale Nebenkanäle sie in die verschiedenen Räume eines Stockwerkes verbreiten. Man kann hierbei nicht erwarten, dass man durch die Anlage der horizontalen Kanäle im Stande sei, die Luft sehr warm in grosse Entfernung vom Wärmeerzeugungsapparate wegzuleiten; denn das sind Kanäle, deren Länge nur die Hindernisse der Bewegung, nicht aber die Druckhöhe vergrössert. Um bei dieser Anordnung eine gleichmässigere Vertheilung der warmen Luft zu bewirken, hat man den verticalen Hauptkanal stufenweise nach oben verengt, wodurch die Vehemenz der emporströmenden warmen Luftmasse gehemmt, ein Theil derselben in die horizontalen Kanäle hinweggedrängt werden muss.

Trotz bedeutenden Aufwandes an Brennmaterial erreichte man auf diese Weise keine gleichmässige Erwärmung sämmtlicher Localitäten; es wurden die vertical über der Heizkammer liegenden Räume am schnellsten und besten erwärmt, und von diesen wieder die oberen überhitzt, ehe die unteren auch nur erträglich warm waren. Durch Verengungen, Schiebervorrichtungen u. dgl. lässt sich allerdings diesem Uebelstand entgegentreten, allein nicht ohne Wärmeverlust und nur mit lästigen Umständlichkeiten.

Eine andere Einrichtung ist folgende: Ein horizontaler oder wenig geneigter Hauptkanal ist unmittelbar über der Heizkammer angelegt. Aus diesem sind verticale Nebenkanäle in die verschiedenen Stockwerke geführt, und zwar, wie im vorigen Falle der verticale Hauptkanal, nach oben verengt und sich wieder auf kleine Entfernungen horizontal verzweigend. Das Re-

sultat dieser Anlage ist, wie diese selbst, dem vorhin erwähnten ähnlich. Allein die Horizontalführung der Luft gelingt besser und auf grössere Entfernungen, wenn die warme Luft zuerst in die Höhe und dann seitlich geleitet wird, also bei dem ersten System; denn hierbei ist die Temperatur der steigenden Luftsäule höher, folglich der Ueberdruck grösser, und namentlich beim Beginn des Heizens, also bei häufig unterbrochener Heizung, macht sich dieses geltend. Es kann unter Umständen lange Zeit dauern, bis die warme Luft in einem langen tief liegenden horizontalen Kanal bis zum äussersten verticalen Kanal gelangt, wenn nicht die näher abzweigenden Kanäle völlig abgesperrt sind, während dieselbe Entfernung bei einem ebenso langen aber hoch liegenden horizontalen Kanal vom Luftstrom rascher erreicht wird. Zweckmässiger ist dennoch zuweilen ein in der Höhe der Heizkammer angelegter sehr weiter Hauptkanal, wovon nachher die Rede sein wird.

Aus der Betrachtung dieser beiden Systeme geht hervor, dass horizontale Warmluftkanäle möglichst zu vermeiden sind und dass nicht ein und derselbe Kanal in verschiedene Stockwerke zu führen ist.

Von Einigen wird angenommen, dass man mit horizontalen Warmluftkanälen auf 10 m nach jeder Seite der Heizkammer gehen könne, aber nicht weiter, von Anderen wird für die oberen Stockwerke eine seitliche Leitung auf 20 m horizontal gemessene Entfernung als zulässig angegeben. Allein das sind speciellen Ausführungen entnommene Resultate. Wie weit man mit einer seitlichen Leitung gehen darf, das ist von der Höhe und Weite der Leitung, von der Heizungsweise und anderen Umständen abhängig und kann im Allgemeinen nicht festgestellt, sondern nur aus besonderen Berechnungen ersehen werden, wobei jedoch nicht Näherungsformeln, sondern möglichst genaue Gleichungen (nach §. 166 ff.) anzuwenden sind.

Zuweilen führt man absichtlich und zweckmässig die Warmluftkanäle nicht nur horizontal, sondern auch auf und nieder in verschiedenen Brechungen, wenn man nämlich die dadurch erzeugte Wärme zum Trocknen gewisser Gegenstände verwenden will, wie bei Getreide-, Malz-, Obst-, Flachsdarren u. dgl.; ähnlich auch in den Wänden von Gewächshäusern. Die in jenen Fällen geltenden Gründe für gebrochene und geneigte Kanäle sind natürlich auf die Zimmerheizung nicht anzuwenden. Für diese Heizung würde ein System von nur verticalen Kanälen die beste Leitung gewähren. Da aber auf diese Art nur die vertical über der Heizkammer liegenden Räume aus derselben geheizt werden könnten, so ist man gezwungen, die Kanäle zuweilen schräg zu ziehen, wenn

man horizontale Strecken vermeiden will. Es besteht die Regel, man solle mit dieser Neigung nicht, ausser auf sehr kurze Strecken, unter einen Winkel von 45° herabgehen. Diese Regel zu befolgen ist gut, aber nicht immer möglich und auch nicht nothwendig, wie schon aus der Anwendbarkeit horizontaler Kanäle hervorgeht. Immerhin ist man durch die vergrösserten Bewegungswiderstände in horizontalen und schrägen Luftleitungen bei ausgedehnten Gebäuden zu der Anlage mehrerer Heizkammern gezwungen, wozu man übrigens schon durch das nöthige Wärmequantum veranlasst sein würde.

Das Zweckmässigste in Bezug auf Heizung und Ventilation wäre, aus einer Heizkammer nur Räume eines Stockwerks zu heizen. Dieses ist aber zuweilen schwer durchzuführen, und recht gut zulässig ist es auch, Räume mehrerer Stockwerke aus einer Heizkammer mit Ventilation zu heizen, nicht dagegen, wie aus früheren Untersuchungen hervorgeht mit Circulation. Doch soll man wo möglich nach jedem Raume einen eignen Kanal von der Heizkammer abgehen lassen. Versieht man jeden dieser Kanäle unmittelbar an oder über der Heizkammer mit einer Klappe, die von aussen gestellt werden kann, so erwächst dieser Anordnung noch der Vortheil, dass man beim Reinigen der Heizkammer die Kanäle absperren, entstehenden Staub aus ihnen abhalten kann, ferner dass man nicht nöthig hat, die warme Luft in alle Kanäle aufsteigen zu lassen, wenn man gewisse Theile des Hauses nicht heizen will, und dass man die Abströmung nach den Zwecken und Bedürfnissen der Räume bei gleichmässig offen bleibenden oberen Kanalmündungen reguliren kann.

Es ist zuweilen schwierig, von einer nicht sehr grossen Heizkammer alle die nothwendigen Kanäle getrennt wegzuführen. Man kann aber auch die Kanäle von einem Heissluftgang ausgehen lassen. Macht man nämlich den Querschnitt eines in der Deckenhöhe der Heizkammer fortlaufenden horizontalen Kanals so reichlich gross, dass er als Erweiterung oder Seitengang der Heizkammer anzusehen ist, so kann man in diesem wegen des fast verschwindenden Reibungswiderstandes die warme Luft sehr weit wegführen. Dieses geschieht allerdings nicht ohne Wärmeverluste, aber die Möglichkeit, die Warmluftkanäle von diesem Heissluftgange aus in grösseren Entfernungen von der Heizkammer vertical emporzuführen, ist von überwiegender Bedeutung.

§. 233.

Höhenlage der Warmluftmündungen in der Heizkammer.

Dient die Heizkammer zur Erwärmung nur eines einzigen Raumes, etwa eines Saales oder einer Kirche, so soll der Warmluftkanal entschieden von der höchsten Stelle der Heizkammer ausgehen, weil es zweckwidrig wäre, die heisseste Luft in der Heizkammer zurückzuhalten. Gleiches gilt für zwei oder mehrere Räume unter gleichen Umständen. Jedenfalls soll wenigstens ein Heizkanal von dem höchsten Punkte der Heizkammer abgehen.

In verschiedenen Höhen bringt man die Mündungen zuweilen an zum Zwecke einer gleichmässigeren Vertheilung der warmen Luft in die durch lothrechte, geneigte und wagerechte, kurze und längere, hohe und niedere Kanäle aus derselben Heizkammer geheizten Räume. Da nämlich die erwärmte Luft am schnellsten durch die lothrechten Kanäle emporgehoben wird, und unter diesen wieder am besten in den höchsten, so sucht man ihre Fortbewegung in den kurzen, geneigten und horizontalen Kanälen dadurch zu begünstigen, dass man diese von den höchsten Punkten der Decke abgehen lässt, die höchsten lothrechten Kanäle dagegen von tieferen Stellen. Man beabsichtigt dadurch wenigstens theilweise das zu erreichen, was man ausserdem durch grössere Verschiedenheit der Kanalweiten und durch Drosselung in einzelnen Kanälen erreichen könnte.

Die Wirkungsweise dieser Vorkehrungen ist insofern verschieden, als in die tiefer abgehenden Kanäle die Heizluft in nahezu gleicher Menge, aber mit geringerer Temperatur gelangt, während bei den in gleicher Höhe von der Decke ausgehenden weniger weiten oder durch Drosselung verengten Kanälen die Luft in geringerer Menge, aber mit gleich hoher Temperatur emporfliesst. Weder das Eine noch das Andere entspricht den Zwecken der verschiedenen Localitäten gleichzeitig in Bezug auf Heizung und Ventilation in gewünschter Weise. Das Ventilationsquantum kann mitunter genügen, aber die Temperatur zu gering sein, wenn Kanalmündungen in der Heizkammer zu tief liegen, und zugleich kann bei den höher abgehenden Kanälen bei richtigem Luftwechsel die Temperatur zu hoch sein. Dagegen mag, wenn alle Kanäle in gleicher Höhe der Heizkammer weggeführt sind, die gleich warme Luft in geringerer Menge für die Heizung eines in Bezug auf Wärmeverluste günstig liegenden Raumes genügen, aber solche Verminderung der Luftmenge ist oft des verlangten Ventilationsquantums wegen zweckwidrig, wenn dieses nicht auf andere Weise beschafft wird.

Diese in der Praxis vielfach hervorgetretenen Unvollkommenheiten älterer Luftheizungsanlagen haben die Anforderung hervorgerufen, dass Heizung und Ventilation gegenseitig unabhängig gemacht werden müssen. Das ist bei Luftheizungsanlagen zwar nicht ganz, aber doch in einem erwünschten Grade möglich, ohne dass die Einrichtungen für Heizung und Ventilation geradezu getrennt werden. Aus dem Folgenden wird dieses klar hervorgehen.

Man soll bei Bestimmung der Höhenlage auf die vorgenannten Gründe für die Höhenverschiedenheit gar nicht Rücksicht nehmen, sondern nur die Verhältnisse der einzuführenden Luftmengen zu den mittels dieser zu transportirenden Wärmemengen massgebend sein lassen.

Auch für gleich grosse Räume eines und desselben Stockwerks und mit gleichen Kanälen ist es zuweilen vortheilhaft, die Mündungen in der Heizkammer ungleich hoch zu legen. Dadurch wird es ermöglicht, jedem Raume in bestimmter Luftmenge eine beliebige Wärmemenge zu liefern, also beispielsweise zwei Zimmer, deren Abkühlungsverhältnisse verschieden sind, mit gleichem Ventilationsquantum auf derselben Temperatur zu erhalten, ihnen bei entsprechenden Kanalquerschnitten gleich viel Luft, aber ungleich viel Wärme zuzuführen.

In jedem Hause kommt es vor, dass einige Zimmer leichter, andere weniger leicht zu heizen sind. Soll nun mit nahezu gleichem Luftwechsel die Erwärmung der Zimmer gleich sein, so führt man den schwerer heizbaren Zimmern die Luft von höheren Stellen der Heizkammer zu und lässt überhaupt die Höhenlage der Mündungen in der Heizkammer den nothwendigen Temperatur-Erhöhungen der emporzuleitenden Luft proportional sein.

Dieser überaus wichtige Grundsatz ist näher zu erklären und zu begründen; der Einfachheit wegen mögen nur zwei Zimmer in Betracht gezogen werden.

Ist die Heizkammer, aus welcher die beiden Zimmer geheizt und zugleich ventilirt werden sollen, so reichlich gross, dass die Luftbewegung darin sehr ruhig und regelmässig vor sich geht, so werden die Temperaturen der einzelnen Luftschichten von unten nach oben ziemlich gleichmässig zunehmen, so dass, wenn man mit t_1 und T_1 zwei Temperaturerhöhungen (über die Temperatur der unten in die Heizkammer fliessenden kalten Luft) bezeichnet und mit h und H die entsprechenden Höhen über dem Heizkammerboden, die Näherungsgleichung besteht:

$$t_1 : T_1 = h : H.$$

Ist z. B. die Höhe der Heizkammer $H = 200$ cm und der Ueberschuss

der Temperatur an der Heizkammerdecke über jene am Heizkammerboden $T_1 = 50^0$ C., so wird man keine bedeutenden Fehler machen, wenn man annimmt, dass für je 1 cm der Höhenzunahme die Temperatur um

$$\frac{T_1}{H} = \frac{50}{200} = {}^1/_4{}^0 \text{ C.}$$

zunimmt und dass für jeden Grad der Temperaturzunahme die Höhe über dem Boden um

$$\frac{H}{T_1} = \frac{200}{50} = 4 \text{ cm}$$

grösser sein wird.

Die specielle Berechnung lässt sich demnach in folgender Weise durchführen:

Man stellt zunächst die Luftmenge fest, welche jedem Zimmer mit Rücksicht auf seine Benützung stündlich zuzuführen ist (§. 109 u. 111), also z. B. 25 cbm pro Kopf und Stunde oder einen dreimaligen Luftwechsel in je einer Stunde. Das Volumen der sich danach entziffernden Luftmenge bei 0° werde mit L bezeichnet. Dann berechnet man unter Annahme irgend einer, aber für sämmtliche Zimmer beizubehaltenden Aussentemperatur, also z. B. 0° den stündlich nöthigen Wärmeaufwand, also die Wärmemenge, welche die Luft des Zimmers haben muss, genauer gesagt, welche die abziehende Ventilationsluft mit sich führt, und die durch Transmission entstehenden Wärmeverluste. Dieser Wärmebedarf kann sich für gleich grosse und gleichmässig benützte Räume schon sehr verschieden gross herausstellen.

Es handelt sich nun weiter um das Verhältniss der nothwendigen Temperaturerhöhungen in der Heizkammer für die den einzelnen Zimmern zu liefernden Luftmengen. Geht man von der Aussentemperatur 0° aus, so geben die erforderlichen Temperaturerhöhungen T_1 und t_1 geradezu die Temperaturen an, welche mit T und t bezeichnet werden mögen. Die Wärmemenge, welche stündlich nothwendig ist, um die Luftmenge L auf Zimmertemperatur, z. B. auf 20° C. zu erwärmen, findet man durch Multiplication dieser Luftmenge L mit der gewünschten Zimmertemperatur, mit dem Gewicht von 1 cbm Luft bei 0° und mit der specifischen Wärme der Luft, also

$$L \,.\, 20 \,.\, 1{,}29 \,.\, 0{,}2377 \text{ oder } 20\, L \,.\, 0{,}3;$$

ferner die durch Transmission verloren gehende Wärmemenge nach §. 194. Die Summe beider Wärmemengen muss von der Luftmenge L in der Heizkammer stündlich aufgenommen werden, und wenn man diesen Wärmebedarf mit W bezeichnet, so muss die Lufttemperatur im betreffenden Heizkanal, beziehungsweise die Temperaturerhöhung werden:

$$T = \frac{W}{L\,.\,0{,}3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1)$$

Für ein zweites Zimmer hätte man ebenso

$$t = \frac{w}{l\,.\,0{,}3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Da es hier nur darauf ankommt, das Verhältniss der Höhenlagen beider Warmluftmündungen in der Heizkammer zu finden, so ist es nicht nothwendig, die Temperaturen T und t auszurechnen. Aus den beiden Gleichungen folgt die dritte:

$$T : t = \frac{W}{L} : \frac{w}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

Bezeichnet man die Höhenlagen für die beiden Kanalmündungen mit H und h, so darf man, wie oben begründet wurde, als ziemlich richtig setzen:

$$H : h = T : t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 4)$$

also auch nach Gleichung 3:

$$H : h = \frac{W}{L} : \frac{w}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 5)$$

das heisst: Die richtigen Höhenlagen beider Kanalmündungen in der Heizkammer sind den Quotienten aus den gleichzeitig nöthigen Wärmemengen und Luftmengen proportional.

Soll den beiden Zimmern gleich viel Luft, aber ungleich viel Wärme geliefert werden, so ist $L = l$ zu setzen, und es wird:

$$H : h = W : w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 6)$$

d. h. die Höhenlagen der Oeffnungen sollen sich verhalten wie die nöthigen Wärmemengen.

Wenn dagegen beiden Räumen verschiedene Luftmengen, aber gleiche Wärmemengen zugetheilt werden müssen, ist $W = w$, und man hat:

$$H : h = \frac{1}{L} : \frac{1}{l}$$

d. h. die richtigen Höhenlagen verhalten sich umgekehrt wie die in gleichen Zeiten emporzuführenden Luftmengen.

Diese wichtigen Folgesätze des vorhin ausgesprochenen Grundsatzes gelten nicht etwa nur für die beispielsweise angegebenen Temperaturen oder nur für eine Aussentemperatur von 0°, sondern, wie die obigen Gleichungen erkennen lassen, ganz allgemein und für jede Aussentemperatur. Wird wegen grösserer Aussenkälte der Wärmebedarf für das eine Zimmer 2 W oder n W so wird er auch für das andere Zimmer,

natürlich unter Voraussetzung constanter Benützungsverhältnisse, 2 w oder $n\,w$, ebenso bei milderem Wetter einerseits vielleicht $\frac{1}{2}$ W oder $\frac{m}{n}$ W, andererseits $\frac{1}{2}$ w oder $\frac{m}{n}$ w. Mit Einführung des allgemeinen Verhältnisses $\frac{m}{n}$ wird aus Gleichung 5:

$$H : h = \frac{m}{n}\frac{W}{L} : \frac{m}{n}\frac{w}{l} = \frac{W}{L} : \frac{w}{l}.$$

Man darf daher, um das Verhältniss $H : h$ zu finden, zur Vereinfachung der Rechnung auch annehmen, dass die Aussentemperatur nur um einen Grad niedriger wäre als die in den Zimmern gewünschte Temperatur, darf also zur Ermittlung des fraglichen Verhältnisses der Werthe W und w die stündlich einzuführenden Luftmengen L und l einfach mit 0,3 multipliciren und dieses Product zu den für 1° Temperatur-Unterschied und pro Stunde geltenden Wärmeverlusten durch Mauern, Fenster u. s. w. addiren.

Die hier entwickelten Sätze können in solchen Fällen, wo die Benützungsart der Räume eines Hauses eine von vorne herein so fest bestimmte ist, dass man die wünschenswerthen Temperaturen der Räume genau kennt und auch die einem jeden Raume stündlich zuzuführende Luftmenge schon bei der Bearbeitung des Bauentwurfs mit genügender Sicherheit festzustellen vermag, so namentlich bei Schulhausbauten, zweckmässige Anwendung finden. In der Praxis kommen zwar Unregelmässigkeiten vor, welche der vollkommenen Erreichung der hier als möglich nachgewiesenen Resultate im Wege stehen; doch hat dieses wenig Bedeutung, weil kleine Abweichungen in Bezug auf Temperatur und Ventilationsquantum zulässig sind, und weil überdies durch stärkeres und schwächeres Feuer im Ofen und durch Regulirungsvorrichtungen in den Kanälen mit Berücksichtigung der wechselnden Zustände genügend nachgeholfen werden kann, wenn im Hauptsächlichen die Anlage den Anforderungen entspricht.

§. 234.

Veränderliche Höhen der Heizkammermündungen. Mischkanäle, Mischräume, Kaltluftkammern, Luftfilter.

In allen denjenigen Fällen, in welchen sich nicht schon bei der Vorberechnung der Luftheizungsanlage die den verschiedenen aus einer

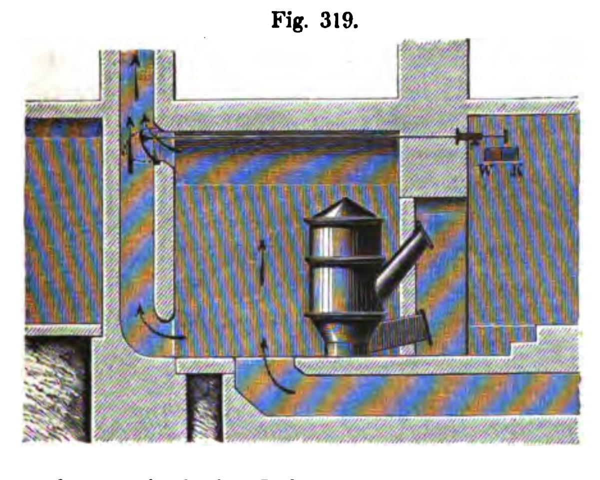
Heizkammer zu erwärmenden Räumen stündlich zu liefernde Menge von Luft und Wärme feststellen lässt, ferner wo wegen ungleichmässiger Raumbenützung der Bedarf an Luft und Wärme in veränderlichen Verhältnissen auftritt, würde es zweckmässig sein, die Höhenlagen der Warmluftöffnungen in der Heizkammer veränderlich auszuführen, zu welchem Zweck man die Kanäle reichlich tief an den Heizkammerwänden herabführen und sie vorne mit einer in verticaler Richtung verschieblichen eisernen Wandung versehen könnte, worin die entsprechende Oeffnung angebracht wäre, die man nach Bedarf richtig stellen würde. Allein diese Einrichtung wäre mit Unbequemlichkeiten in der Benützung verknüpft, bei welchen die richtige Handhabung nicht zu erwarten ist.

Da man eine beliebige Temperatur innerhalb der gegebenen Grenzen nicht nur durch Entnehmen der Luft von einer bestimmten Höhe, sondern auch durch Mischung der kältesten und wärmsten Luft in einem entsprechenden Verhältniss erlangen kann, wodurch die Bedingungen der obigen Hauptgleichung 3

$$T : t = \frac{W}{L} : \frac{w}{l}$$

erfüllt werden, so besteht ohne Zweifel eine zweckmässigere Einrichtung darin, dass man einem jeden Heizkanal eine Mündung an der Decke und am Boden der Heizkammer gibt und diese Mündungen beziehungsweise die Kanalquerschnitte, nach Bedürfniss mehr öffnet oder schliesst. Dieses lässt sich mittels einer einzigen Klappe erreichen, wie in Fig. 319 anschaulich gemacht ist. Der Warmluftkanal kann oberhalb der Klappe als **Mischkanal** benutzt werden. Die Befestigung der Klappenstange in beliebiger Stellung wird am besten mittels einer Röhre nebst Klemmschraube zu bewerkstelligen sein.

Fig. 319.



Bei solcher Einrichtung ist die **Ventilation von der Heizung** in hohem Grade **unabhängig** und Beides auch unabhängig von der

Lage und Benützungsweise der übrigen aus derselben Heizkammer geheizten und ventilirten Räume. Dass man dennoch nicht heizen kann, ohne zugleich zu ventiliren, ist meines Erachtens kein Uebelstand von solcher Bedeutung, dass diese Einrichtung bei ihrer Einfachheit nicht empfehlenswerth wäre. Die Ventilation mit Luft von entsprechender Temperatur ist die Hauptsache, und hier kann ventilirt werden mit sehr warmer, kühler und nach Belieben mässig warmer Luft.

Es muss aber vorausgesetzt werden, dass der Ofen unter allen Umständen genügt und richtig benützt wird, sowie dass der Kanal für Zuleitung der frischen Luft reichlich grossen Querschnitt hat und genügend geöffnet ist, auch die Querschnitte der verschiedenen Heizkanäle richtig berechnet und ebenso ausgeführt sind.

Ich glaube noch beifügen zu dürfen, dass es hierbei möglich ist, die kälteste Luft allein emporzuleiten, indem man die obere Kanalmündung in der Heizkammer gänzlich schliesst. Es ist keineswegs nöthig, die letztere theilweise offen zu lassen, damit durch den heissen Luftstrom die kältere Luft emporgerissen werde; während der Heizperiode ist auch für die kältere, am Fussboden der Heizkammer beginnende und in warmen Mauermassen sich bewegende Luftsäule eine genügende Temperaturerhöhung und daher ein so reichlicher Ueberdruck von Seite der noch kälteren Aussenluft vorhanden, dass an dem Zustandekommen und Beharren der gewünschten Luftbewegung nicht zu zweifeln ist. Immerhin ist die Geschwindigkeit dieser Bewegung ungefähr im Verhältniss der Quadratwurzel der Temperaturdifferenzen geringer, also die stündliche Luftmenge nur dann unter allen Umständen genügend, wenn mit Rücksicht auf diese Benützungsweise, überhaupt für die ungünstigsten Umstände die Kanalquerschnitte berechnet worden sind.

Man findet auch die Einrichtung, dass die untere Verlängerung des Warmluftkanals bis in einen aus dem Freien kommenden Kaltluftkanal hinabgeführt ist, oder ein solcher Kaltluftkanal in irgend einer Höhe mit dem Warmluftkanal zusammenmündet. Diese Einrichtung ist weniger gut, weil in einem solchen Kanal, wenn er nicht ausserordentlich weit ist, leicht eine bedeutende Menge Staub aus dem Freien mitgerissen wird.

Besser dagegen ist es in dieser Beziehung, sowie auch zur Abschwächung ungünstiger Einflüsse des Windes, den von aussen kommenden Kaltluftkanal in eine Kaltluftkammer münden zu lassen. Darin soll die kalte Luft nicht am Boden, sondern in möglichst grosser Höhe nach dem Warmluftkanal geführt werden, weil hierbei die Luft um so mehr staubfrei ist und überdies die Reibungslänge des kalten Kanals vermindert wird. Eine derartige zweckentsprechende Einrichtung ist in

Fig. 320 dargestellt. In der geräumigen Kaltluftkammer muss sich der Staub grössten Theils absetzen; doch lässt sich darin auch eine *Filterwand* anbringen, wodurch die Luft fast vollständig gereinigt und überdies befeuchtet werden kann. Die mir bekannten Luftfilter sind sämmtlich unpraktisch. Ein besseres denke ich mir, wie in Fig. 320 und 321

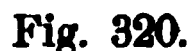
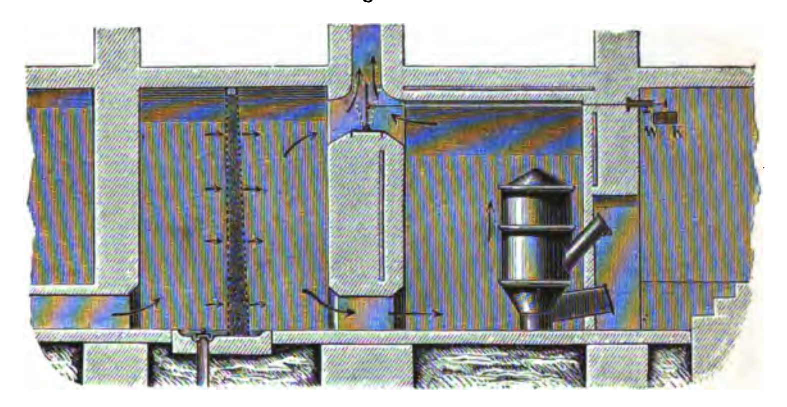


Fig. 320.

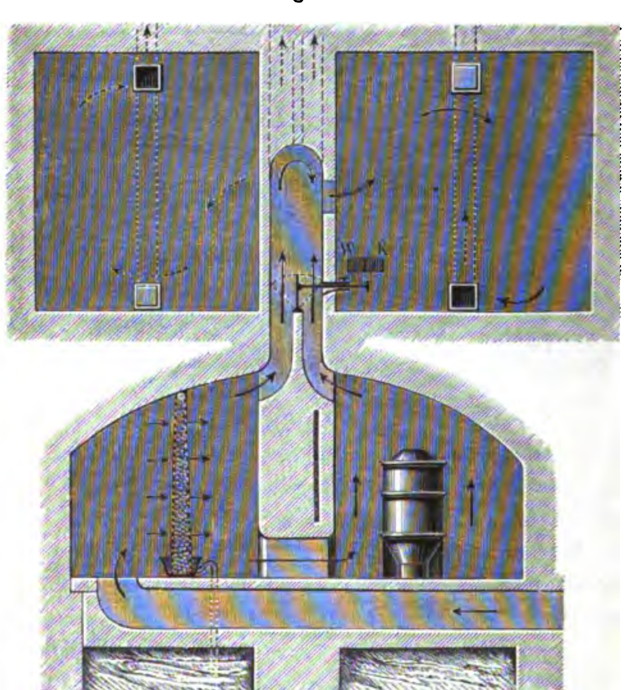


angedeutet, als ein grosses aus eisernen Gitterwänden gebildetes und mit kleinen Glaskugeln gefülltes Gefäss; am oberen Ende ist eine mit vielen kleinen Löchern versehene Wasserröhre eingelegt. Das herabgesickerte Wasser sammelt sich unten in einem Behälter oder einer Rinne, woraus es durch eine mit Wasserschluss versehenen Röhre (§. 106) nach einem Abwasserkanal weggeleitet wird. Ich habe zwar solche Luftfiltration noch nicht erprobt, weiss auch nicht, ob Aehnliches irgendwo mit oder ohne Erfolg in Anwendung gekommen ist, glaube jedoch, dass bei reichlich grosser Ausdehnung und geringer Dicke der Filterwand und bei Verwendung von Glaskugeln, die weder zu gross noch zu klein sind, der Gesammtquerschnitt der Luftwege genügend ist und doch der Staub zurückgehalten wird.

Die beiden in Fig. 319 und 320 dargestellten Einrichtungen der Mischklappen haben den — in manchen Fällen freilich unwesentlichen — Mangel, dass es nur mit complicirten, kostspieligen und nicht leicht zu benützenden Transmissionsvorrichtungen ausführbar ist, vom Zimmer aus die betreffenden Klappen nach Bedürfniss richtig zu stellen. Dieses ist jedoch leicht zu ermöglichen, indem man den zweckmässig wieder mit einer Kaltluftkammer in Verbindung stehenden Kaltluftkanal ebenso hoch wie den Warmluftkanal emporführt und beide Kanäle etwa in Fuss-

bodenhöhe des Zimmers in einen Mischraum zusammenmünden lässt. Je einer der beiden Kanäle kann vom Zimmer aus nach Belieben ganz oder theilweise geöffnet und geschlossen werden. Diese Einrichtung ist in Fig. 321 anschaulich gemacht. Bei ähnlichen jedoch höher liegenden Mischräumen hat die Mischung der warmen und kalten Luft gewöhnlich

Fig. 321.



nur unvollkommen stattgefunden; bei der gezeichneten Einrichtung dürfte sie in befriedigender Weise erfolgen. Uebrigens könnten zur Erreichung noch besserer Mischung die von mir für Luftbefeuchtung construirten Windrädchen oder ähnliche Vorrichtungen in verticaler oder horizontaler Lage dienen.

Den Ableitungskanal der Zimmerluft versieht man bei derartigen Luftheizungseinrichtungen mit schliessbaren Oeffnungen am Fussboden und in der Nähe der Decke. Unten lässt man die Zimmerluft ausfliessen, wenn das Bedürfniss der Erwärmung vorwaltet, also auch die Luft sehr warm in das Zimmer eingelassen wird, oben dagegen, wenn man die Ventilationsluft kalt einlässt, weil das Bedürfniss der

Kühlung und des Luftwechsels vorherrscht, so namentlich, wenn in dem Zimmer zahlreiche Gasflammen brennen. Um die reine kühlere Luft möglichst auszunützen, soll hierbei die untere Abflussmündung geschlossen sein. Bei der Einführung gemischter, mässig warmer Luft ist ebenfalls die Ableitung in der Nähe der Decke zweckmässiger, damit die Exhalationsgase nicht wieder in das Niveau der Respiration herabgeführt werden.

§. 235.

Mündungen der warmen Luft in den zu heizenden Räumen.

Die Anzahl und Grösse der Mündungen, durch welche die warme Luft in die zu heizenden Räume fliesst, richtet sich im Zusammenhange mit der Anzahl und dem Querschnitte der betreffenden Kanäle nach der Grösse der zu heizenden Räume und nach den speciellen Zwecken derselben.

Die Warmluftmündung mit einer Einziehung zu versehen, das heisst, sie kleiner zu machen als den Querschnitt des Kanals, ist im Allgemeinen nicht zweckmässig, und zwar einmal, weil die Röhre überhaupt nirgends verengt sein soll, um nicht unnützer Weise die Zuflussmenge zu vermindern, den Wärmeverlust zu vermehren, alsdann auch, weil die an der Mündung heftig gepresste Luft in einer bestimmten Richtung, sich zu wenig vertheilend, in das Zimmer strömen würde, was unter Umständen für die in der Nähe dieser Mündung sich aufhaltenden Personen lästig sein kann. Ist dagegen der Mündungsansatz der Röhre noch etwas erweitert, so kann die ganze durch den Kanal zugeführte Luftmenge mit grösserer Ruhe ins Zimmer fliessen.

Doch bietet die durch Verengung der Ausmündung verursachte grössere Luftgeschwindigkeit den Vortheil, dass der warme Strom sich weiter in das Zimmer ergiesst und eine grössere Menge kälterer Luft mit sich reisst, überhaupt mehr Luftmischung stattfindet, wodurch die Gleichmässigkeit der Erwärmung befördert wird. Bei grossen Zimmern von solcher Benützung, dass Niemand gezwungen ist dem warmen Strome zu nahe zu kommen, ist daher die Querschnittsverengung nicht als ungeeignet zu bezeichnen.

Was die Höhe der Mündung im Zimmer über dem Boden betrifft, so müsste zum Vortheile besserer Ventilation die Mündung an der Decke, zum Vortheile besserer Erwärmung am Fussboden liegen. Je tiefer sie liegt, desto mehr muss sich schon während des Emporstei-

gens die warme Luft mit der kälteren mengen, also eine gleichmässigere Erwärmung bewirken. Am liebsten ordnet man jene Ausmündung so an, dass eine in der Nähe derselben stehende Person von dem warmen Luftstrome nicht unmittelbar berührt werden kann, also etwa 1½ bis 2 m über dem Boden. Uebrigens gilt auch hier manche Ausnahme, und zwar aus den nämlichen Rücksichten, durch welche die Verengung begründet wurde; unter Umständen ist es sehr wohl zulässig, die warme Luft in der Nähe des Fussbodens oder durch diesen selbst in das Zimmer strömen zu lassen.

Um den Luftstrom nach Belieben einlassen, absperren, reguliren zu können, versieht man diese Oeffnungen mit Thürchen, Klappen, Schiebern, rosettenartig durchbrochenen Scheiben von Eisenblech, welches einen entsprechenden Anstrich erhält, oder auch von Gusseisen oder Messing. Wo es die Benützungsweise des Zimmers gestattet, empfiehlt es sich, Thürklappen anzuwenden, welche von unten nach oben geöffnet werden, so dass gewöhnlich der warme Luftstrom schräg abwärts eingeführt wird.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass die zuweilen gestellte Bedingung, die warme Luft dürfe nur in einer Höhe von 2 m und mit einer Geschwindigkeit von höchstens 1 m einströmen, unter speciellen Umständen begründet sein kann, nicht aber als allgemeine Bedingung der Zweckmässigkeit betrachtet werden darf. Durch tiefe Lage nebst horizontaler oder schräg abwärts gerichteter Einführung mit grosser Geschwindigkeit wird Raschheit und Gleichmässigkeit der Erwärmung in hohem Grade begünstigt. Indessen ist allzu tiefe Lage besonders bei der Abwärtsführung zu vermeiden, damit nicht Bodenstaub aufgewirbelt wird.

Nicht überflüssig wird es sein, hier beizufügen, dass man in den Warmluftkanälen an deren Mündungen oder nahe hinter diesen möglichst bald nach ihrer Ausführung Drahtgitter oder gusseiserne Gitterplatten so anbringen soll, dass sie nicht ohne Aufwand von Zeit und Mühe herausgenommen werden können. Ich habe nämlich die Erfahrung gemacht, dass Maurer, Gypser und Tapezierer die Kanäle dazu benützen, um Abfälle — sei es aus Gleichgültigkeit, Bequemlichkeit oder Böswilligkeit — zu beseitigen. Kopfgrosse Klumpen von Gyps und bekleisterten Tapetenresten habe ich in solchen Kanälen gefunden. Auch kommt es vor, dass später Spielbälle und andere Gegenstände in solche nicht geschlossene Oeffnungen gelangen.

Wird solchen Missbräuchen und Zufälligkeiten, die zuweilen Ursache sind, dass dieser oder jener Kanal auffallend wenig oder übel riechende Luft liefert, durch Vergitterung auch vorgebeugt, so ist doch darauf Rücksicht zu nehmen, dass die Möglichkeit vorhanden sein muss,

die Kanäle mittels einer Kugelbürste oder auf andere Weise zu untersuchen und zu reinigen. Uebrigens ist, wenn die Anlage im Ganzen zweckmässig gemacht, eine Luftkammer vorhanden oder die Heizkammer reichlich gross und die Einmündung der Aussenluft günstig angebracht ist, die Reinigung der Warmluftkanäle kaum jemals nöthig. In meinem Hause sind diese Kanäle in 9 Jahren noch nicht gereinigt worden und es ist keine Verminderung der Einströmungsgeschwindigkeit oder Veränderung der Luftbeschaffenheit zu bemerken.

§. 236.

Kanäle für Zuleitung frischer Luft.

Der Kanal, welcher der Heizkammer reine Luft zuführt, welche die erwärmt emporsteigende ersetzen, eigentlich diese emporheben, aus der Heizkammer verdrängen soll, *muss am Fusse der Heizkammer einmünden.* Die Gründe hierfür sind wohl aus Früherem klar. Zunächst wird man nach dem *Querschnitte* dieses Kanals fragen.

Da die durch den Zuleitungskanal der Heizkammer zufliessende kalte Luft sich durch Erwärmung in der Heizkammer ausdehnt, so dürfte der fragliche Querschnitt kleiner sein, als die Summe sämmtlicher Abflussöffnungen der warmen Luft. Weil dagegen wieder die warme Luft in demselben Verhältnisse specifisch leichter, beweglicher geworden, bei demselben Drucke fähig ist, rascher emporzufliessen, weil auch die Vergrösserung hier nicht Wärmeverluste, sondern eher noch Vorwärmung zur Folge hat, weil ferner ein grösserer Druck vom Fusse der Heizkammer her, sowie ein Vorrath frischer Luft daselbst nicht nachtheilig ist, eine grosse Weite dieses Kanals aber eine ruhigere Strömung veranlasst; wodurch weniger leicht Staub in die Heizkammer mitgerissen wird, weil endlich der daselbst abgesetzte Staub um so leichter beseitigt werden kann, je grösser der Kanalquerschnitt ist; — so soll der *Querschnitt des Zuleitungskanals der reinen Luft zur Heizkammer wenigstens um ein Drittheil grösser sein, als die Summe aller Warmluftöffnungen in der Heizkammer.* Ein noch grösserer Querschnitt ist nur vortheilhaft.

Danach wird sich in den meisten Fällen ein so grosser Querschnitt ergeben, dass es zweckmässig ist, den fraglichen Kanal nicht aus Thonröhren zusammenzusetzen, sondern ihn aus Mauerwerk zu fertigen. Man kann wohl auch Holz verwenden, wenn man sich eines temporären Zweckes wegen mit geringerer Dauer begnügen darf.

In diesem Kanale bringt man eine Klappe an zum Reguliren der einfliessenden Luftmenge. Gänzlich muss diese Klappe geöffnet sein, wenn man alle Räume zugleich mit Ventilation heizen will, also auch alle Klappen an der Decke der Heizkammer geöffnet hat. Sie darf übrigens aus den erwähnten Gründen auch vollständig offen sein, wenn man nur einige Räume heizt. Bei heftigem, besonders Staub mit sich führendem Winde, sowie wenn die Atmosphäre mit Nebel u. dgl. ange füllt ist, óder auch zu jeder anderen Zeit, wenn man mit Circulation heizen will, wird diese Klappe gänzlich geschlossen.

Zum Zwecke einer guten Circulation ist es Hauptbedingung, dass diese Klappe dicht schliessend ausgeführt werde. Man kann, wie an der Heizkammerthür, eine angeschliffene Platte anwenden, oder, da sich diese Klappe leicht so anbringen lässt, dass sie weder mit der warmen Luft in Berührung kommt, noch von der strahlenden Wärme des Ofens getroffen wird, kann man sie mit einem beliebigen weichen elastischen Körper polstern. Derartige Vorkehrungen werden übrigens selten anzuwenden sein, weil die Circulationsheizung wenig Werth hat.

Um den Einfluss des Windes zu schwächen, das Einwehen des Staubes und Regens, das muthwillige oder böswillige Einwerfen von Gegenständen zu verhindern, kann man, wenn es nicht möglich ist, den äusseren Anfang des Kanals an einen hinlänglich sicheren, geschützten Platz zu legen, doch leicht daselbst entsprechende Vorkehrungen treffen. Ein Gitter aus Eisenstäben über einem Luftschachte, etwa eine Siebeplatte oder ein feines Drahtgitter an der Mündung des Kanals im Schachte, ein an irgend einer Stelle eingemauertes eisernes Kreuz oder ähnliche Vorkehrungen werden das Eindringen von Dieben, Hunden, Katzen, Ratten u. dgl. hinlänglich verhüten. Solche Einrichtungen sind von Localverhältnissen abhängig; eine passende Einrichtung wird sich immer finden lassen.

Man übersehe aber nicht bei Anwendung eines Drahtgitters, einer Siebeplatte u. dgl. die betreffende Stelle des Kanals so zu erweitern, dass der Luftzutritt nicht wesentlich vermindert wird.

Nicht nur in der Nähe der Heizkammer, sondern auch an der äusseren Mündung richte man den Kanal zum vollständigen Absperren ein. Dadurch wird nicht nur zum Zwecke der Circulationsheizung ein um so dichterer Schluss erreicht, es wird auch das Ansammeln von Staub in diesem Kanale, so lange nicht mittels desselben ventilirt wird, also in den meisten Fällen während des Sommers, vollständig verhindert. Im Sommer kühle Luft aus der Heizkammer zum Zwecke der Ventilation regelmässig und genügend in die Zimmer emporzuschaffen,

gelingt nur mit Anwendung von Ventilationsmaschinen, welche doch nur in seltenen Fällen in Anwendung kommen.

Den äusseren Anfang des Kanals bildet gewöhnlich eine Oeffnung im Gebäudesockel in Form eines einfachen oder gekuppelten Kellerfensters, welches in jedem Falle reichlich gross sein muss.

Sollte die Luft in der Nähe des Erdbodens nicht rein genug sein, so legt man die Mündung höher; man kann sie viel höher, beliebig höher legen. Im Allgemeinen und namentlich im letzteren Falle, befindet sich die Einmündung am besten auf der Nordseite des Hauses.

Man kann die kalte Luft sogar über dem Dache entnehmen, in welchem Falle man, um die störenden Einwirkungen des Windes abzuwenden und im Gegentheil den Wind vortheilhaft zu benützen, Pulsionsapparate, Windfänger, Luftpresser (im Gegensatz zu den Luftsaugern) nämlich einfache und vorzugsweise feste Apparate, wie solche in §. 133 und 134 angegeben sind, in Anwendung bringen muss.

Eine solche Einrichtung würde, wenn man den Zuführungskanal in der nördlichen Aussenmauer des Hauses herabführt, auch für die Sommerventilation sehr gut geeignet sein. Ein Bedenken dagegen liegt nur darin, dass es gewöhnlich kaum möglich sein wird, unter allen Umständen das Eindringen des Rauches naher Schornsteine in solche Luftzuführungskanäle zu verhindern.

§. 237.

Kanäle zur Ableitung der abgekühlten Zimmerluft.

Die Kanäle, welche die kältere Zimmerluft in die Heizkammer zurück führen, sollen aus ähnlichen Gründen, wie sie bei dem Kanale für Zuleitung frischer Luft angegeben worden sind, im Querschnitt ebensogross oder etwas grösser sein, als die in denselben Raum führenden Warmluftkanäle. Man darf, da bei der in Rede stehenden Circulationseinrichtung die Luft der verschiedenen Zimmer sich in der Heizkammer mischt, auch schon die einzelnen Kanäle aus den Zimmern eines Stockwerks in einen Hauptkanal zusammenführen; den Querschnitt dieses Kanals macht man alsdann ebensogross als die Nebenkanäle zusammen, oder etwas grösser, indem hier die oben für die Warmluftkanäle genommenen Rücksichten umgekehrt zur Geltung kommen.

Wird die verdorbene Zimmerluft durch den Schornstein oder mittels besonderer Kanäle in die Atmosphäre emporgeführt, so wäre es bei

gleichmässig fortgepflanztem Ueberdruck zweckmässig, die Ausflussöffnung der kälteren Luft etwas kleiner zu machen als die Zuflussöffnung der warmen Luft, um Gegenströmungen und das Einfliessen kalter Luft durch die zufälligen Oeffnungen mehr zu vermeiden. So geschieht es auch in der Regel, und man glaubt das Verhältniss der beiden Oeffnungen unmittelbar nach der Volumverminderung, welche im Zimmer in Folge der Abkühlung der warmen Luft stattfindet, am richtigsten berechnen zu können, weil hier jedesmal die Formel für den Ausfluss warmer Luft in kältere gelten würde. Allein diese Anschauungen haben keine praktische Begründung; es lässt sich hier das zweckmässigste Verhältniss der Oeffnungen allgemein nicht angeben. Die massgeblichen Factoren sind so verschiedenartig, oft so complicirt und veränderlich, dass jeder Raum eine specielle Ueberlegung verlangt, wenn man das zweckmässigste Verhältniss der beiden Oeffnungen und Kanalquerschnitte finden will. Hierüber handelt §. 240 ausführlicher.

Ein nach Art eines Schornsteins mit innerer Rauchröhre emporgeführter Abzugskanal soll wo möglich vertical sein und sein Querschnitt mit Rücksicht auf Wärmeverluste nicht oder nicht viel grösser als die Summe der gegen denselben in den Zimmern angebrachten Abflussmündungen. Die gusseiserne Rauchröhre kann man entweder ungefähr 1 m unter der grösseren Schornsteinmündung, welche mit einem guten Luftsauger versehen sein muss, endigen lassen, oder sie über die Deckplatte des grossen Saugers emporführen und mit einem kleineren Sauger bekrönen.

Die neben und über einander liegenden Räume dürfen in den meisten Fällen einen solchen Abflusskanal gemeinschaftlich haben, namentlich wenn durch Erwärmung und geschützte Ausmündung gegen Rückströmungen Vorsorge getroffen wird. Immerhin ist es besser, bei Ventilationseinrichtungen die Abflusskanäle vollständig getrennt zu halten, um das unter gewissen ungünstigen Umständen mögliche Ueberfliessen der schlechten Luft eines Zimmers in ein anderes sicher zu verhüten. Bei Krankenhäusern ist dieses ganz besonders wichtig.

Eine namentlich bei älteren Luftheizungen bestehende Einrichtung ist die, dass die Ableitungskanäle nach dem Kellergeschoss hinab in einen Sammelkanal geführt sind, welcher mit dem entsprechend weiten Heizschornstein oder besser mit einem besonderen zuweilen durch eine besondere Feuerung oder durch Gas erwärmten Ventilationsschornstein (einem sogenannten Lockkamin oder Aspirationsschornstein), als welcher auch wieder der weite Schornstein mit innerer Rauchröhre dienlich ist, in Verbindung steht. Diese Ein-

richtung bietet einige Vortheile. Bei verbundener Circulations- und Ventilationsanlage ist es leicht, mittels einfacher Umstellung einer Klappe die herabgelangte Luft entweder in die Heizkammer oder in den Ventilationsschornstein zu leiten; ferner können in den tief geführten Ableitungskanälen hinter Glasscheiben Thermometer und Hygrometer angebracht werden, aus deren Angaben der Heizer auf die Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft in den verschiedenen Räumen schliessen kann; endlich begünstigt diese Einrichtung trotz der grösseren Reibungslänge die Geschwindigkeit und Regelmässigkeit des Luftabflusses, wenn der Ventilationsschornstein reichlich warm ist. Nachtheile sind, dass bei ungenügender Erwärmung des Ventilationsschornsteins verkehrte Strömungen in einigen Kanälen entstehen können, ferner dass die Unterbringung der vielen Kanäle oft mit Schwierigkeiten verknüpft, die Ausführung kostspielig ist. Die unmittelbare Emporführung der Ableitungskanäle ist in diesen letzteren Beziehungen vorzuziehen und entspricht auch immer dem Zwecke, wenn die Kanäle wie Feuerungsschornsteine über das Dach hinausgeführt und mit Luftsaugern bekrönt werden. Weniger zu empfehlen ist die freie Ausmündung der einzelnen Kanäle im Dachraum oder die Zusammenführung der verschiedenen Ableitungskanäle daselbst nach einem Sammelraum, von wo aus ein weiter Ventilationsschornstein über das Dach geht. Doch sind auch diese Einrichtungen mit befriedigendem Erfolg ausgeführt.

Die Zimmerluft auf kürzestem Wege vom Fussboden ab durch eine Oeffnung in der Aussenmauer abzuleiten, wäre möglich, wenn das Zimmer dicht geschlossen wäre. Da dieses aber nirgends der Fall ist, so würde durch eine solche Oeffnung kalte Luft einfliessen. Solche Oeffnungen sind, wie in den speciellen Untersuchungen über Ventilation angegeben ist, unter manchen Umständen zweckdienlich, nicht jedoch unter den hier obwaltenden Umständen.

Auch die Anbringung von Fussbodenöffnungen gegen nicht geheizte Räume hin, wie Treppenhäuser, Corridore, Vorplätze und Vorzimmer, ist, sogar wenn diese geschlossen sind, in gleichem Horizont eine unzuverlässige Einrichtung, welche leicht das Einfliessen kalter Luft aus jenen Räumen zur Folge hat, selbst wenn man aus diesen die Luft durch höher liegende Oeffnungen und emporgeführte Röhren abfliessen lässt. Wo es dagegen dem Zwecke entspricht, die Zimmerluft in der Nähe der Decke abzuführen, kann diese abfliessende warme Luft zuweilen mit Vortheil benützt werden, um solche Vorräume etwas zu erwärmen. Bei höher liegenden Räumen, z. B. Dachkammern, kann dieses auch mittels der durch Bodenöffnungen abgeleiteten Zimmerluft

geschehen. Es ist aber darauf Rücksicht zu nehmen, ob die schlechtere und in Folge der Abkühlung relativ feuchte Luft in solchen Räumen nicht Nachtheile verursacht.

§. 238.

Weitere Bemerkungen in Betreff der Leitungskanäle und Mündungen.

Man findet für die Anlage der Leitungskanäle folgende Regel aufgestellt: Die warmen Kanäle seien in einer warmen Mittelwand des Gebäudes anzulegen, die kalten Kanäle dagegen, Ableitungskanäle der abgekühlten und verdorbenen Zimmerluft, in einer kalten Wand, Aussenwand. Als Begründung hierfür wird angegeben, es könne, wenn man durch bauliche Verhältnisse gezwungen sei, die kalten und warmen Kanäle in eine und dieselbe Mittelmauer zu legen, durch anhaltende Heizung die kalte Luft zu sehr erwärmt werden, um gehörig zu sinken, ausserdem die warme Luft zu sehr abgekühlt, um gehörig zu steigen, kurz, es könne die Heizung gehemmt werden. Man müsse desswegen, wo eine solche Anlage nicht umgangen werden könne, wenigstens eine Luftschicht als schlechten Wärmeleiter zwischen je einem kalten und warmen Kanale aussparen.

Oben ist nachgewiesen worden, dass schon bei sehr geringen Temperaturdifferenzen die Strömung der Luft in der beabsichtigten Richtung zu Stande kommt; ferner dass die Geschwindigkeit nur verhältnissmässig langsam mit der Temperaturerhöhung zunimmt, etwa im Verhältnisse der Quadratwurzel der Temperaturdifferenz; endlich dass sogar in einer und derselben Röhre der kalte und warme Luftstrom ihre Wege nach entgegengesetzter Richtung nehmen. Um so weniger ist bei zwei getrennten Kanälen an eine erhebliche Störung zu denken. Zu wünschen ist aber ohne Zweifel, dass die abfliessende Zimmerluft, mag sie nun in die Heizkammer oder ins Feuer oder ins Freie mittels eines Schornsteins u. dgl. geführt werden, die geringe Wärme, die sie besitzt, nicht vollends an die Wände des Kanals abgibt, was aber am leichtesten in der kalten Aussenwand geschehen müsste.

Es dürfen und sollen also wo möglich sämmtliche Kanäle in einer und derselben Mittelmauer angelegt werden, und zwar ohne einen besonders auszusparenden Zwischenraum; eine ruhige Luftschicht wäre ja doch nicht vorhanden.

Das ganze Leitungssystem ist, ähnlich wie die Ofen- und Schorn-

steinröhren, mit einer hinlänglichen Anzahl Thürchen u. dgl. zu versehen, um zuweilen mit Besen und Bürste vom adhärirenden Staube gereinigt zu werden. Diese Thürchen müssen dicht geschlossen und gehörig mit Lehm u. dgl. verstrichen sein. Solcher Schluss, ja sogar vollständige Zumauerung der Oeffnungen ist, wenn solche nur für spätere Auffindung kenntlich gemacht werden, um so mehr am Platze, da, wie bereits erwähnt, bei guter Einrichtung das Reinigen des Leitungssystems in vielen Jahren nicht nöthig ist.

Ueber die gegenseitige Lage der Ein- und Ausmündungen ist Einiges zu sagen. Diese ist oft unrationell gewählt und zwar in Folge einer irrthümlichen Vorstellung von dem Vorgange der Luftströmung im Zimmer. Theils wegen des „Gegenzugs," theils um den Weg der warmen Luft möglichst lang zu machen, will man die beiden Oeffnungen einander „diagonal oder diametral gegenüber" oder überhaupt möglichst weit von einander entfernt anbringen. Dieses ist ohne Wichtigkeit, wo die reine Luft kalt oder wenig erwärmt eingeführt und nach weiterer Erwärmung im Zimmer selbst oben abgeführt wird. Bei der Heizung mit erwärmter Luft nach dem gewöhnlichen Vorgange der Luftheizung liegt die Sache anders. Die einströmende warme Luft gelangt je nach ihrer Einführungsweise in einem Parabelbogen oder in anderer Strömungsweise gegen die Zimmerdecke, bewegt sich unter dieser hauptsächlich gegen die anderseitige kältere Wand hin, wo ein grosser Theil der warmen Luft rasch abgekühlt wird und ziemlich direct zum Fussboden herabfliesst. Befindet sich nun unten an dieser Wand die Abflussmündung, so entweicht viel reine Luft ungenützt. Liegt aber die Abflussmündung unterhalb der Einmündung an der nämlichen Wand, so muss jene Luft erst noch über den Fussboden zurückfliessen, ehe sie entweichen kann, sie macht also den grössten Weg, einen fast vollständigen Kreislauf. Für jenen Theil der warmen Luft, welcher mehr allmählich in nahezu horizontalen Schichten herabgedrängt wird, ist die Lage der Abflussöffnung in horizontaler Beziehung ohne Wichtigkeit, aber für den ersteren Theil und folglich im Ganzen ist die Regel begründet: Die Abflussöffnung soll in horizontaler Beziehung möglichst nahe der Zuflussöffnung der warmen Luft liegen. Am besten liegt sie an derselben Wand lothrecht unter jener. Diese Lage veranlasst keine bauliche Schwierigkeit, da doch die Zuleitungs- und Ableitungskanäle in der Mittelmauer neben einander liegen sollen, und sie empfiehlt sich gewöhnlich auch in Rücksicht auf Raumbenützung und Symmetrie.

§. 239.

Nebeneinrichtungen bei Luftheizungsanlagen.

Welche Einrichtungen und Bestandtheile bei verschiedenen Luftheizungssysteme unumgänglich nothwendig und wie sie zweckdienlich anzubringen sind, ist im Obigen dargelegt. Doch lassen sich noch gewisse Einrichtungen hinzufügen, welche unter manchen Umständen nützlich sind, in Folge dessen aber oft überschätzt und auch an solchen Orten angewendet werden, wo sie entbehrlich wären und wo die Vortheile der Einfachheit und Wohlfeilheit mehr zu beachten sein dürften. Solche Einrichtungen sollen im Folgenden angegeben werden.

I.

Luftzuführungskanäle in verschiedenen Richtungen. Luftfänge. Ablenkungszungen. Rückstossklappen.

Da der Wind, je nach seiner Richtung, an einer Oeffnung pressend oder saugend wirken, daher die Luft eintreiben oder wegreissen kann, so wird durch die äussere Mündung eines Kanals, welcher die Luft aus dem Freien nach der Heizkammer führen soll, nicht immer die reine Luft in der Menge einfliessen, welche dem durch die Temperaturdifferenz gegebenen Ueberdruck entsprechen würde; der Kanal wird zuweilen mehr, zuweilen weniger Luft liefern, zuweilen kann auch die Strömung darin eine umgekehrte sein.

Von der Annahme ausgehend, dass der Wind nicht zugleich auf zwei entgegengesetzten Gebäudeseiten saugend wirke, hat man zwei Luftkanäle von entgegengesetzten Seiten in die Heizkammer geführt, oder einen durchgehenden Kanal nebst einem Verbindungsstück mit der Heizkammer angelegt.

Die erwähnte Annahme ist aber nicht richtig. Auch auf drei und sogar auf allen vier Seiten eines Hauses kann der Wind gleichzeitig saugend wirken. Ein Westwind wirkt saugend auf der Ost-, Nord- und Südseite, und er kann ebenso auch auf der Westseite selbst wirken, wenn in der Nähe der Kanalöffnung ein den Wind ablenkender Gegenstand, etwa ein anderes Haus oder eine Hofmauer vorhanden ist.

Bei gewisser Situation ist es dienlich, einfache Luftfänge anzubringen, welche das Einfliessen der Luft begünstigen. In den durchgehenden Kanälen werden Ablenkungszungen, in solchen und

anderen Kanälen auch Rückstossklappen, leicht bewegliche Hängeklappen angebracht, welche bei der gewünschten Richtung des Luftstromes offen sind, bei umgekehrter Stromrichtung dagegen sich schliessen. Hierbei ist besonders darauf zu achten, dass der Luftquerschnitt durch solche Klappen nicht unter das nothwendige Mass verkleinert wird, und zwar mit Rücksicht auf Contraction.*)

Die Luftfänge, als ausserhalb der Umfassungsmauern vorstehende Theile, können zuweilen nicht angewendet werden, weil sie den Verkehr hemmen, also nicht am Gebäudesockel in einer Strasse. Dadurch möge man sich aber nicht abhalten lassen, die reine Luft von dieser Seite zu entnehmen, wenn es sich aus anderen Gründen zweckmässig erweist. Man könnte die Luft zwar mittels eines Luftfangs, wie bereits in §. 236 angegeben ist, von grösserer Höhe, sogar vom Dache aus in die Heizkammer hinabführen; dem stehen aber nahe liegende Bedenken entgegen, und auch abgesehen von solchen lege ich bei Luftheizungen auf diese und die anderen vorgenannten Einrichtungen nicht viel Werth. Zwischen einzelnen heftigen Windstössen treten längere Pausen mit verhältnissmässig geringer Luftbewegung ein und auch die Richtungen der Windstösse sind wenig constant. Daher äussert sich die Wirkung des Windes an einer Kanalmündung gewöhnlich nur auf kurze Zeitdauer, auf einige Augenblicke mit langen Unterbrechungen besonders ungünstig, nicht leicht veranlasst der Wind eine so bedeutende Rückströmung, dass dadurch die Heizung und Ventilation dauernd gestört würde. Bedeutender sind die Störungen in Folge des Saugens und Pressens an den zufälligen Oeffnungen des Hauses; wichtiger ist es also, Thüren und Fenster gut zu schliessen, gute Doppelfenster anzubringen und die Wände möglichst dicht ausführen zu lassen. Diese Forderung wäre zu beanstanden, wenn nicht Ventilationseinrichtungen vorausgesetzt wären, bei welchen auf spontane Ventilation verzichtet werden darf.

In meinem Hause wird die frische Luft für die eine Heizkammer nur von der Nordseite, für die andere nur von der Westseite entnommen, Rückstossklappen sind nicht vorhanden, ebenso wenig Luftfänge, und diese Dinge werden nicht vermisst. Ich habe häufig bei jeder Windrichtung die Luftströmung nach den Zimmern mittels des statischen Anemometers (§. 90) beobachtet, aber selbst bei sehr stürmischem Wetter nur höchst selten einen momentanen Stillstand oder eine kurze Rückbewegung gefunden. Der Heizeffect wurde dabei nicht wesentlich vermindert.

---

*) Vergl. Stäbe's Preisschrift über Ventilationssysteme §. 8.

Es verhalten sich in Betreff solcher Störungen die Ventilationskanäle nicht ebenso wie die Rauchschornsteine. Während ein einziger Rückstoss im Schornstein, wenn er auch nur einige Secunden währt, eine Küche und Wohnung in sehr belästigendem Grade mit Rauch füllen kann, werden solche Unregelmässigkeiten bei Luftkanälen kaum bemerkt und sind um so weniger nachtheilig, wo die Luftleitungen der einzelnen Zimmer von einander getrennt ausgeführt sind.

II.

Trennung der Ventilation und Circulation in einer Heizkammer.

Wenn der Fall gegeben ist, dass man gewisse Räume, wo in bedeutender Menge übelriechende Gase oder Dämpfe erzeugt werden, oder wo die Luft durch Tabakrauch u. dgl. verunreinigt wird, mit Ventilation andere Räume desselben Gebäudes dagegen mit Circulation heizen will, so ist bei dem Entwurfe für eine solche Heizeinrichtung zuerst zu bedenken, ob es nicht zweckmässig ist, für solche Räume zwei besondere Heizkammern anzulegen. Ausserdem kann man auch die eine Heizkammer je nach Bedürfniss in zwei gleiche oder ungleiche Räume trennen, so dass aus dem einen mit Ventilation, aus dem anderen zugleich mit Circulation geheizt werden kann. Beanspruchen die abgesondert mit Circulation oder Ventilation zu heizenden Räumlichkeiten nur eine geringe Heizfläche, so setze man über den Ofen eine Trommel von Gusseisen oder Eisenblech, oder ersetze die oben erwähnte über dem Ofen anzubringende Platte, welche die Strahlung gegen die Decke abhalten soll, durch einen eisernen Kasten, versehe diese oder die Trommel unten mit einer Röhre, durch welche die frische Luft, oder bei der zu trennenden Circulation des kleineren Raumes die kältere Luft aus diesem, einfliessen kann, und oben mit einer anderen Röhre, welche die erwärmte Luft nach dem betreffenden Raume leitet. Auf diese Weise ist jener Raum von der Luft der übrigen vollkommen isolirt.

Man kann auch, was namentlich bei kleinen und wenig benützten Localen, die entweder nicht oder für sich besonders ventilirt werden, genügend und angenehm sein wird, eine Art Wandheizung oder Luftofenheizung mittels der Circulation bewerkstelligen, indem man die erwähnte Trommel oder überhaupt den für die Circulationsheizung bestimmten Theil des Ofens oder der Heizkammer durch eine Röhre mit einem eisernen flachen Wandkasten in jenem Local verbindet, entweder nach dem Princip der Doppelströmung durch Emporführung einer sehr

weiten Röhre von der Decke des heissen Raumes der Heizkammer nach dem Boden des Wandkastens, oder besser nach dem richtigen Circulationsprincip durch Verbindung der oberen Theile einerseits und der unteren andererseits, wobei die zwei Röhren viel enger sein dürfen.

Der geschlossene Lufterhitzungsraum in der Heizkammer ist übrigens hierbei nicht einmal nothwendig, wenn nur die obere Erwärmungsvorrichtung und die Leitungsröhren dicht sind. Die Circulationsröhren können dann unmittelbar an der Decke und beziehungsweise am Fussboden der Heizkammer münden, welche im Uebrigen für Ventilationsheizung dienen kann.

Die letzterwähnten Einrichtungen gehören streng genommen nicht mehr zu der eigentlichen Luftheizung, sondern zu den combinirten Heizungen, von welchen später die Rede sein wird.

III.

Einrichtungen, um die Temperatur und Feuchtigkeit der Zimmerluft ausserhalb der Zimmer zu erkennen.

Bei Wohnräumen sind solche Einrichtungen kaum von Wichtigkeit, weil die Bewohner in der Regel so viel Zeit und Gelegenheit haben, um die nothwendigen Beobachtungen in den Zimmern zu machen und für die Regulirung zu sorgen, weil überdies dort in der Regel kein Heizer aufgestellt ist, der die Beobachtungen zu machen hätte und dessen dauernde Anwesenheit in der Nähe des Ofens nothwendig wäre.

In öffentlichen Gebäuden jedoch, namentlich in Schulhäusern, können die das Zimmer benützenden Personen mit Beobachtung und Regulirung der Temperatur und Feuchtigkeit sich nicht befassen, dieses muss dem Dienstpersonal, gewöhnlich einem Heizer überlassen werden und anvertraut werden können, welcher die Zimmer nicht betreten darf.

Das Einfachste ist, in den Zimmern an geeigneten Stellen der nach dem Gang liegenden Wände hinter Glas Thermometer und Hygrometer anzubringen, wobei es nicht schwierig ist, die Einrichtung so zu machen, dass dem Beobachter der Einblick in den weiteren Zimmerraum nicht möglich ist, und doch die Beobachtungen hinreichend genau sein können.

Bei ausgedehnten mehrstöckigen Gebäuden würde eine solche Beobachtungsweise für den Heizer in zu hohem Masse zeitraubend sein. Da empfiehlt es sich, die Ablesungen der Thermometer und Hygrometer im Kellergeschoss in der Nähe der Heizkammern zu ermöglichen.

Derartige Vorrichtungen sind nicht allein bei Luftheizungsanlagen,

sondern ebenso bei den anderen Centralheizungen nothwendig oder zweckmässig, sollen desswegen später, nachdem das Nöthige über diese mitgetheilt sein wird, ausführlicher zur Behandlung kommen.

IV.

Mittel zur Reinigung und Befeuchtung der Heizluft.

Einfache Vorrichtungen hierfür sind bereits in den vorausgegangenen Mittheilungen gelegentlich angedeutet worden, so das Wasserschiff auf dem Ofen in Verbindung mit einem ausserhalb der Heizkammer angebrachten Wasserstands- und Fülltrichter (Fig. 310, 311, 318) und die Filterwand (Fig. 320, 321). Für Luftbefeuchtung benützt man in vielen Fällen zweckmässiger andere Vorrichtungen, die im nächsten Abschnitt beschrieben werden sollen, weil sie bei Heizungsanlagen nur insofern von Wichtigkeit sind, als diese mit Ventilationseinrichtungen combinirt werden.

§. 240.

Berechnung der Luftheizungskanäle.

Bei der Besprechung der einzelnen Kanäle ist bereits die Berechnungsweise im Allgemeinen angedeutet worden. Es wird sachdienlich sein, jene Andeutungen zu begründen und die verschiedenen Verhältnisse, welche bei der Berechnung in Frage kommen, zu beleuchten.

Die Circulationsheizung ist zwar in der Regel nicht zu empfehlen, aber ihre Anwendung kann unter manchen Umständen doch für sich und in Verbindung mit der Ventilationsheizung gerechtfertigt sein, wesshalb sie auch hier nicht übergangen werden soll.

I.

Berechnung der Kanäle für Circulationsheizung.

Die hier vorkommenden Kanäle sind: die Luftzuleitungskanäle, auch Heizkanäle, warme oder Warmluftkanäle genannt, und die Luftableitungskanäle, Rückleitungskanäle, im Gegensatze zu den andern auch als kalte oder Kaltluftkanäle bezeichnet, weil sie die abgekühlte Zimmerluft in die Heizkammer zurückleiten.

Es genügt, die Berechnungsweise unter der Annahme ins Auge zu fassen, dass nur ein einziges Zimmer zu heizen wäre. Das Zimmer wird auf gewöhnliche Art geschlossen vorausgesetzt, die Heizkammer da-

gegen als dicht geschlossen. Man hat es alsdann mit zwei communicirenden Luftsäulen von ungleichem specifischen Gewichte zu thun, mit zwei communicirenden Röhren, welche durch die Heizkammer so verbunden sind, dass sich in diesem System der Ueberdruck von der schwereren Flüssigkeit aus gleichmässig durch die leichtere fortpflanzt.

Dem Zimmer müssten nur so viele Wärmeeinheiten zugeführt werden, dass die durch Wärmetransmission entstehenden Verluste ersetzt würden, wenn kein Luftwechsel stattfände. Ein Luftwechsel findet aber Statt durch die zufälligen Oeffnungen; wie gross er ist, muss leider nach Schätzung mit Rücksicht auf die Fenster- und Thürschlüsse, die Dichtigkeit der Mauern, Fussböden und Decken, die Situation des Hauses und die Lage des Zimmers selbst angenommen werden. Zur grösseren Sicherheit ist dieser zufällige Luftwechsel eher zu gross als zu klein anzunehmen. Ein Ueberdruck von der äusseren Atmosphäre her und nach dieser zurück ist in Folge der relativen Luftverdünnung der Innenluft vorhanden, aber principiell nicht in der Weise und dem Masse, wie bei einem mittels eines Windofens geheizten Zimmer von aussen nach dem Schornstein hin, sondern durch die unteren Mauertheile herein, durch die oberen hinaus. Unter diesen Umständen ist der Luftwechsel gewöhnlich kein sehr starker, doch kann heftiger Wind ihn bedeutend vermehren. Man wird aber kaum mehr als einmaligen Luftaustausch in der Stunde bei einem Zimmer von gewöhnlicher Bauart anzunehmen haben.

Es werde mit w_1 der Wärmeverlust in Folge der Transmission durch Mauern, Fenster, Fussböden und Decke bezeichnet; dieser ist nach §. 194 leicht zu berechnen.

Die wegen des zufälligen Luftwechsels stündlich neu zu erwärmende Luftmenge, bei einmaligem Luftaustausch also zugleich der Luftcubus des Zimmers, sei A und die hierfür nöthige Wärmemenge w_2. Ist die mittlere Zimmertemperatur 20° C., so ist die Temperatur in den oberen Zimmerschichten höher, und man darf annehmen, dass daselbst die Luft mit 25° C. entweicht. Als Temperatur der durch die zufälligen Oeffnungen einfliessenden Luft nimmt man — 20° C. an. Der Wärmeverlust durch den Luftaustausch ist alsdann für den Temperaturunterschied 45° C. zu berechnen, und es ist die hierfür aufzuwendende Wärmemenge genau genug:

$$w_2 = A \,.\, 45 \,.\, 0{,}3,$$

wobei 0,3 die Wärmecapacität von einem Cubikmeter Luft nahe bei 0° für die Temperaturzunahme um 1° ist, eine Zahl, die mitunter als relative Wärme bezeichnet wird und nicht mit der specifischen

Wärme 0,2377 zu verwechseln ist, die für 1 kg Luft gilt. (Vergl. §. 46 und §. 233.)

Der stündliche Wärmebedarf ist für den Beharrungszustand:

$$W = w_1 + w_2.$$

Diese Wärmemenge ist dem Zimmer in der circulirenden Heizluft zu liefern, was durch geringe Luftmenge von sehr hoher Temperatur, oder durch grosse Luftmenge von mässiger Temperatur geschehen kann. Letzteres ist wegen grösserer Gleichmässigkeit der Erwärmung des Zimmers vorzuziehen. Man mag 50° C. als Ausströmungstemperatur annehmen und dieselbe Temperatur auch als mittlere Temperatur (oder Mischungstemperatur) der warmen Luftsäule, da diese im oberen Theile der Heizkammer und im unteren Theile des Warmluftkanals zwar etwas wärmer, im unteren Theile der Heizkammer dagegen kälter ist als die ausströmende Luft.

Soll die Luft bei 50°, also bei einer Temperaturerhöhung um 30°, wenn die Luft im Rücklauf die Temperatur 20° hat, die Wärmemenge W transportiren, so muss die in einer Stunde circulirende Luftmenge L dargestellt sein durch:

$$L = \frac{W}{30 \cdot 0{,}3} = \frac{w_1 + w_2}{9} \text{ Cubikmeter.}$$

Um diese Luftmenge stündlich durch Circulation in das Zimmer geliefert zu erhalten, muss, wenn man mit C die secundliche Geschwindigkeit der warmen Luft und mit Q den Querschnitt des Warmluftkanals bezeichnet, die Gleichung erfüllt werden:

$$L = Q \cdot C \cdot 3600 \text{ Cubikmeter.}$$

Danach ist der nöthige Kanalquerschnitt bestimmt; denn L ist bekannt und C ist nach den jeweilig gegebenen Verhältnissen auf bekannte Weise zu berechnen. Man kann für diese Berechnung je nach der gewünschten Genauigkeit die in §. 83 oder 169 gegebenen Formeln anwenden, bei den gewöhnlichen Einrichtungen auch die einfache Näherungsformel der wirklichen Geschwindigkeit:

$$C = 0{,}5 \sqrt{\frac{2\, g\, H\, (T - t)}{273 + t}} \text{ Meter in der Secunde,}$$

worin $g = 9{,}81$ m, H die Höhe vom Boden der Heizkammer bis zur Ausmündung der warmen Luft im Zimmer und nach der vorliegenden Annahme $T = 50°$ C. ist. Die Temperatur t soll die mittlere sein für die kältere Luftsäule von der Höhe H, also im Zimmer und im Ableitungskanal zur Heizkammer; sie wird unter sonst gleichen Verhältnissen um so höher sein, je grösser der in Betracht kommende Theil der Zimmerhöhe ist und je geringer der zufällige Luftwechsel, indem

die durch die zufälligen Oeffnungen einfliessende kalte Luft zu Boden sinkt und ziemlich direct dem Kaltluftkanal zufliesst. Die Länge dieses Kanals kann zur Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur beitragen, je nachdem er in warmen oder kälteren Mauertheilen angelegt ist. Gewöhnlich wird er ziemlich warm liegen. Mit Rücksicht hierauf wird man die Temperatur $t = 20^0$, also gleich der mittleren Zimmertemperatur annehmen können, wenngleich die in den Kanal fliessende Luft selten wärmer als 15^0 sein wird. Die Annahme einer geringen Differenz $(T - t)$ also eines etwas grossen Werthes für t ist zu grösserer Zuverlässigkeit der Rechnung dienlich.

Demnach ergibt sich durch Einsetzung der angegebenen Werthe die Geschwindigkeit

$$C = 0{,}5 \sqrt{\frac{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, H \,.\, (50 - 20)}{273 + 20}} \text{ Meter in der Secunde,}$$

und der erforderliche Querschnitt des Warmluftkanals:

$$Q = \frac{L}{3600\, C} = \frac{w_1 + w_2}{9} : 3600 \,.\, 0{,}5 \sqrt{\frac{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, H \,.\, (50 - 20)}{273 + 20}} \text{ qm.}$$

Der so berechnete Querschnitt genügt um so mehr bei milderer Aussentemperatur, weil alsdann die in der Circulationsluft dem Zimmer zu liefernde Wärmemenge, also bei gleicher Einströmungstemperatur die wärmende Luftmenge L geringer sein darf, während doch die Geschwindigkeit C hierbei wegen Beibehaltung der Differenz $(T - t) = (50 - 20)$ die gleiche bleibt.

Bei Verminderung der Einströmungstemperatur hingegen muss unter gleichen Umständen die nöthige Circulationsmenge wachsen, während doch die Geschwindigkeit geringer wird, so dass bei bedeutender Erniedrigung der Einströmungstemperatur der nach Obigem berechnete Querschnitt auch bei milder Witterung nicht genügen würde. So würde bei halbem Wärmebedarf und halber Temperaturerhöhung die gleiche Menge Circulationsluft zu bewegen sein, aber die Geschwindigkeit kleiner werden und in gleichem Verhältniss der Querschnitt grösser sein müssen; bei einer Aussentemperatur von 0^0 würde der unter obigen Voraussetzungen berechnete Querschnitt nicht genügen, wenn man die Circulationsluft mit 35^0 C. einströmen lassen wollte. Daraus geht hervor, dass die oben zu Grunde gelegten Annahmen keineswegs zu einem für die mittlere Wintertemperatur übermässig grossen Querschnitte führen.

Den nöthigen Querschnitt des Rückleitungskanals könnte man unter den obigen Annahmen, wobei man nur die geringe Volumänderung zu

berücksichtigen hätte, durch eine ähnliche Gleichung berechnen; er würde sich kleiner ergeben als der Querschnitt des Warmluftkanals. (Vergl. §. 70.) Doch wäre der Unterschied beider so gering, dass es vollkommen gerechtfertigt ist, diesen Kanal eben so weit anzulegen wie den Warmluftkanal, zumal da ein grösserer Querschnitt wegen Verminderung des Reibungswiderstandes nur vortheilhaft ist.

Die gesammte in obige Rechnung einzuführende Wärmemenge $W = w_1 + w_2$, ist in der Regel die nämliche, welche auch mittels des Ofens in der Heizkammer erzeugt werden muss; denn die durch Personen und Beleuchtungsflammen entwickelte Wärmemenge bleibt unberücksichtigt, wenn auch bei Tage und bei Abwesenheit von Personen das Zimmer ebenso gut geheizt sein soll. In anderen Fällen können jene Wärmemengen nach §. 183 und 184 berechnet und in Abzug gebracht werden.

II.

Berechnung der Kanäle für Ventilationsheizung.

Die hier in Betracht zu ziehenden drei Kanäle mögen in folgender Ordnung besprochen werden:

1) Der Warmluftkanal, welcher die in der Heizkammer erwärmte frische Luft dem Zimmer zuführt;
2) Der Kaltluftkanal, welcher die frische Luft aus dem Freien in die Heizkammer zu liefern hat;
3) Der Ableitungskanal, welcher die schlechtere Zimmerluft in die freie Atmosphäre führt.

1) Der Warmluftkanal muss hier einem doppelten Zwecke dienen; er muss die Beheizungswärme und die Ventilationsluft nach dem Zimmer liefern. Dass bei einer bestimmten Maximaltemperatur der Heizluft ein gewisser Querschnitt beiden Zwecken gleichmässig genau entsprechen würde, wäre ein Zufall, es kann der eine oder andere Zweck einen grösseren Querschnitt nöthig machen. Man muss aus diesem Grunde den Querschnitt in zweifacher Weise berechnen und den grösseren Querschnitt in Ausführung bringen.

Um den für die Beheizung nöthigen Querschnitt Q zu finden, dient eine Berechnung, welche jener für den Circulationskanal ähnlich und für den Beharrungszustand die folgende ist.

Zuerst wird der Wärmebedarf ermittelt, welcher bei strenger Kälte, also bei -20^0 C. und bei der gewünschten Zimmertemperatur, z. B. 20^0 C. in einer Stunde zu decken ist. Dieser Wärmebedarf setzt sich

zusammen aus den nach §. 194 zu berechnenden Verlusten durch Wärmetransmission und den für die Erwärmung der Ventilationsluft, gesetzt L_1 Cubikmeter in der Stunde, nöthigen Wärmeaufwand. Für letztere Berechnung kann man in abgerundeten Werthen setzen:

den Ausdehnungscoëfficienten der Luft $= 0{,}00367$,
das Gewicht von 1 cbm Luft bei $0^0 = 1{,}3$ kg,
die specifische Wärme der Luft $= 0{,}24$,

oder auch sogleich die relative Wärme von 1 cbm Luft wie vorhin $= 0{,}3$.

Ein Theil dieser so berechneten Gesammt-Wärmemenge kann ausnahmsweise durch Beleuchtungsflammen und durch Lebenswärme geliefert werden, in der Regel ist sie gänzlich mittels des Luftheizungsofens zu erzeugen und durch den Warmluftkanal emporzuschaffen.

Wenn bei aussergewöhnlich starker Ventilation und verhältnissmässig geringen Feuchtigkeitsquellen in den geheizten Räumen Wasser in beträchtlicher Menge verdampft werden muss, und zwar an den oberen Kanalmündungen oder in den Zimmern selbst auf Kosten der emporgeschafften Wärme, so ist auch diese Wärmemenge in Rechnung zu bringen. Geschieht die Wasserverdampfung in der Heizkammer, so ist sie blos in Bezug auf die vom Ofen zu erzeugende Wärmemenge zu berücksichtigen.

Ist stündlich die Wärmemenge W in der Heizluft empor zu liefern unter der Bedingung, dass diese mit höchstens 50^0 C. in das Zimmer ströme, so ist nun bei der Aussentemperatur -20^0 die in der Stunde emporzuschaffende Luftmenge:

$$L_2 = \frac{W}{70 \,.\, 0{,}3} = \frac{W}{21} \text{ Cubikmeter.}$$

Dieses Luftquantum L_2 kann je nach dem Verhältniss des Ventilationsbedarfs zu den Wärmeverlusten grösser oder kleiner sein als das verlangte Ventilationsquantum L_1. Weiterführung der Rechnung in dieser Richtung ist zwecklos, wenn L_2 nicht beträchtlich grösser ist; denn wäre es nur eben so gross, so würde der bei der hier vorhandenen grossen Geschwindigkeit der Luftströmung sich ergebende Querschnitt für die Emporschaffung des verlangten Ventilationsquantums bei geringen Temperaturdifferenzen nicht genügen.

Es sei nun L_2 bedeutend grösser als L_1, so dass für weitere Berechnung im vorliegenden Sinne Grund gegeben ist. Um die Luftmenge L_2 in einer Stunde emporzuschaffen, muss man den Querschnitt so gross machen, dass seine Grösse Q multiplicirt mit der 3600fachen secundlichen Geschwindigkeit C die Luftmenge L_2 ergibt, also

$$Q \cdot 3600\ C = L_2$$

$$Q = \frac{L_2}{3600\ C}\ \text{Quadratmeter.}$$

Die Geschwindigkeit C ist ebenso wie bei der Circulationsheizung zu berechnen, jedoch mit Einführung der Aussentemperatur $t = -20^\circ$ für die den Ueberdruck bewirkende Luftsäule, so dass man den Werth erhält:

$$C = 0{,}5 \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot H(50 + 20)}{273 - 20}}\ \text{Meter in der Secunde.}$$

Der günstige Einfluss des Ableitungskanals ist hierbei zu grösserer Sicherheit der Rechnung nicht berücksichtigt.

Um alsdann den Querschnitt Q_1 für den Ventilationsbedarf zu berechnen, müssen ungünstige Umstände anderer Art zu Grunde gelegt werden, also etwa eine Aussentemperatur von 10° und eine Einströmungstemperatur von 30° C. Der Ableitungskanal bleibt wieder ausser Berücksichtigung. Dann wird die Luftgeschwindigkeit:

$$C_1 = 0{,}5 \sqrt{\frac{2 \cdot 9{,}81 \cdot H(30 - 10)}{273 + 10}}\ \text{Meter in der Secunde,}$$

und wenn der stündliche Ventilationsbedarf L_1 Cubikmeter beträgt, also der für die Secunde $L_1 : 3600$, so wird

$$Q_1 = \frac{L_1}{3600 \cdot C_1}\ \text{Quadratmeter.}$$

Man wird alsdann, wenn es die Verhältnisse gestatten, den grösseren der beiden Querschnitte anwenden, ausserdem vielleicht einen zwischen Q und Q_1 liegenden, oder sogar den kleineren von beiden, wobei es jedoch zulässig sein müsste, dass die Heizluft mit einer höheren Temperatur als 50° und beziehungsweise 30° einströmt, und im letzteren Falle zu hohes Steigen der Zimmertemperatur durch irgend eine der angegebenen Vorrichtungen verhütet, zugleich auch etwa durch Ableitung der Zimmerluft in der Nähe der Decke die Ventilation vermehrt wird.

2) Der Kaltluftkanal muss diejenige Luftmasse aus dem Freien in die Heizkammer liefern, welche aus der Heizkammer mittels des Warmluftkanals emporgeschafft werden soll. Diese beiden Kanäle gehören zu einem und demselben System communicirender Röhren, zu dem nämlichen Ueberdrucksystem. Man könnte für die in der Secunde zu liefernde Luftmenge mit Rücksicht auf das geringere Volumen der kalten Luft den Querschnitt besonders berechnen, indem man für Aufsuchung der Geschwindigkeit die Näherungsformel benützen würde:

$$c = 0{,}5 \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + T}}.$$

Oder man könnte nach dem in §. 70 entwickelten Verhältniss der Oeffnungen für den Durchfluss gleicher Luftmassen von ungleicher Temperatur den Querschnitt bestimmen. Doch sind solche Berechnungen des Kaltluftkanals auch dann kaum nothwendig, wenn man durch bauliche Verhältnisse gezwungen ist, den Querschnitt auf das zulässige Minimum zu beschränken. Da nämlich die Luftmassengleichheit auch bei sehr geringen Temperaturunterschieden bestehen muss, wobei das richtige Verhältniss der Oeffnungen nahezu gleich 1 wird, so kann man als einfache Regel festhalten, es soll das zulässige Minimum des Kaltluftkanal-Querschnitts in der Summe der Querschnitte der Warmluftkanäle bestehen, welche von der Heizkammer abgehen, mögen diese für die Beheizung und Ventilation der Zimmer nur eines einzigen Stockwerkes oder mehrerer Stockwerke dienen.

Dass es in mehrfacher Beziehung nur vortheilhaft ist, den Querschnitt des Kaltluftkanals viel grösser zu machen, ist bereits an anderen Stellen angegeben und begründet.

3) Der Ableitungskanal der Zimmerluft wird mitunter ebenfalls als Kaltluftkanal bezeichnet, was aber zu vermeiden ist schon der möglichen Verwechselungen wegen und um so mehr aus dem Grunde, weil häufig dieser Kanal auch dazu dient, warme Luft in der Nähe der Zimmerdecke aufzunehmen und in die Atmosphäre emporzuführen.

Auch in Bezug auf den Querschnitt findet sich — was mit der unrichtigen Bezeichnung zusammenhängen mag — die unrichtige Auffassung, dass für den Ableitungskanal dieselben Rücksichten massgebend seien, wie für den kalten Zuleitungskanal der frischen Luft oder den Rückleitungskanal der Zimmerluft bei der Circulationsheizung.

Allein die Auffassung müsste principiell eine andere sein, selbst dann, wenn man es mit einem absolut dicht geschlossenen System zu thun hätte. Selbst dann wäre hier dieselbe Formel für die Berechnung der Geschwindigkeit massgebend, wie bei der Berechnung der Geschwindigkeit im Warmluftkanal, nämlich als Formel der theoretischen Geschwindigkeit:

$$C = \sqrt{\frac{2\,g\,H\,(T - t)}{273 + t}}\,.$$

Diese bleibt unter allen Umständen massgebend; aber die Werthe der einzelnen Grössen werden zum Theil andere als für den Warmluftkanal, weil dieser Ableitungskanal nicht mehr zu dem nämlichen System communicirender Röhren mit Fortpflanzung gleichen Ueberdrucks gehört, sondern für sich als eine durch die zufälligen Oeffnungen gleichwie durch offene Fenster mit der Aussenluft communicirende Röhre zu betrachten ist.

Daher ist H die Höhe von der Mitte der Einmündung im Zimmer bis zur Ausmündung des Kanals in der Atmosphäre (oder im Dachraum, wenn er daselbst endigt), und T die Temperatur der Luft in diesem Kanale, während für t wie bei dem Warmluftkanal die Temperatur der Aussenluft gesetzt wird. Diese Temperaturen wählt man zur Sicherheit der Rechnung ungünstig für den Luftwechsel, also etwa $t = 10^0$ und $T = 15^0$, wenn der Ableitungskanal kalt liegt, dagegen $T = 30^0$, wenn er ein erwärmter Ventilationsschornstein ist.

Hat man so die Geschwindigkeit berechnet, so erhält man den nöthigen Querschnitt durch Division mit dieser in die während einer Secunde durchzuleitende Luftmenge, als welche man bei genauer Rechnung dieselbe Gewichtsmenge wie bei dem Warmluftkanal, also die dort bei 50^0 in Rechnung gezogene Volumenmenge, reducirt auf die Temperatur $T = 15$ oder 30^0 anzunehmen hätte. Gewöhnlich darf man diese Volumenverschiedenheiten als unwesentlich vernachlässigen.

Es ist vorausgesetzt, dass der Ableitungskanal seine untere Mündung am Fussboden des Zimmers hat. Für den Fall, dass der Ableitungskanal auch in der Nähe der Zimmerdecke eine Ableitungsöffnung hat, genügt der so berechnete Querschnitt um so mehr, weil alsdann die Temperatur T der abfliessenden Luft, wenn die obere Oeffnung benützt wird, bedeutend höher ist, und die dadurch erfolgende Erwärmung des Kanals noch länger nachwirkt.

4) Bemerkungen zu vorstehenden Berechnungsweisen.

Bei der Berechnung der Querschnitte der Warmluftkanäle und Ableitungskanäle mag es zu willkürlich scheinen, dass diese als unabhängig von einander angenommen sind.

Gewiss sind bei gut geschlossenen Thüren und Fenstern die Luftströmungen in diesen Kanälen von gegenseitigem Einfluss. Man bemerkt in der That unter solchen Umständen mittels des statischen Anemometers eine augenblickliche Aenderung der Geschwindigkeit in jeder der beiden Mündungen, wenn man die andere öffnet oder schliesst; man findet auch zuweilen in den Ableitungskanälen der oberen Stockwerke eine Zunahme der Geschwindigkeit, welche sich nicht anders erklären lässt, als durch die Einwirkung des in den höher liegenden Raum mit grösserer Geschwindigkeit gelangenden warmen Luftstroms. In der Regel jedoch nimmt bei einem mehrstöckigen Hause in den oberen Stockwerken nur die Geschwindigkeit der Einströmung warmer Luft zu, die der Ausströmung der Zimmerluft dagegen ab. Es müssen also im Allgemeinen die Ab-

strömungsöffnungen und zugehörigen Kanalweiten in den oberen Stockwerken grösser angelegt werden als in den unteren, während das Umgekehrte für die Querschnitte der Warmluftkanäle gilt.

Das günstigste Verhältniss beider Kanalweiten ist nach den angedeuteten Umständen variabel, und desswegen ist es nothwendig, die Querschnitte reichlich gross zu machen, aber Vorrichtungen für die Regulirung der Luftströme anzubringen und diese Vorrichtungen auch richtig zu benützen.

Der wünschenswerthe Vorgang ist der, dass durch den Ableitungskanal eben so viel Luft ausfliesst, als durch den Zuleitungskanal einfliesst, und dass durch die Fensterfugen und die übrigen unvermeidlichen Oeffnungen an Wänden, Fussböden und Decken ein Luftwechsel nicht stattfindet. Die übliche Annahme, dass die künstliche Ventilation durch die natürliche oder zufällige unterstützt und vermehrt werde, ist im Allgemeinen nicht richtig. Der erwähnte wünschenswerthe Vorgang würde bei vollständiger Undurchlässigkeit der Umgrenzungskörper eines Zimmers erfolgen, und es würden dabei überdies der Zuleitungs- und Ableitungskanal zu einem und demselben Ueberdrucksystem gehören, in welchem die Luftgeschwindigkeit grösser wäre. Bei guter Ventilationseinrichtung wäre Verhinderung des zufälligen Luftwechsels vortheilhaft in Bezug auf Heizung und Ventilation. Der zufällige Luftwechsel ist nicht zu vermeiden, aber er soll durch unrichtige Verhältnisse der Kanalweiten oder Mündungen nicht allzusehr vergrössert werden.

Ist der Querschnitt des Ableitungskanals so klein, dass viel weniger Luft durch diesen ausfliesst als durch den Zuleitungskanal gleichzeitig einfliesst, so entweicht eine grosse Menge der wärmsten und zugleich reinsten Luft durch die zufälligen Oeffnungen, und die Temperatur der oberen Luftschichten ist viel höher als die der unteren, die jedoch genügend warm sein können.

Ist dagegen der Querschnitt des Ableitungskanals so gross, dass viel mehr Luft durch diesen ausfliesst, als gleichzeitig durch den Zuleitungskanal einfliesst, so dringt eine grosse Menge kalter Aussenluft durch die zufälligen Oeffnungen ein und bewirkt Abkühlung der unteren Schichten. Dieser letztere Vorgang wird gewöhnlich unangenehmer sein als der erstere; desshalb wären die Querschnitte der Ableitungskanäle eher etwas zu klein als zu gross zu machen, beziehungsweise lieber etwas zu viel zu schliessen, als zu weit zu öffnen.

Ob es von besonderer Wichtigkeit ist, dahin zu trachten, dass durch die Zimmerwände nur Luft eindringt und die Wände nicht als Filter der Zimmerluft Verunreinigungen festhalten, wird sich entscheiden lassen,

sobald die qualitativen Luftverunreinigungen genauer erforscht sein werden, was von der nächsten Zukunft zu erwarten ist. Die gewöhnlichen Verunreinigungen sind vermuthlich gasförmig; die in Krankenhäusern gemachten Beobachtungen jedoch rechtfertigen die Behauptung, dass wenigstens die Infectionsträger gewisser Krankheiten staubförmig und nicht gasförmig sind. Solche müssen also möglichst rasch entfernt oder wirkungsunfähig gemacht werden, bevor sie Gelegenheit finden, sich an den Wänden u. s. w. festzusetzen. Die Erhaltung der Luftreinheit in Krankenzimmern erfordert eben ganz besondere Massregeln.

Sind die beiderseitigen Mündungen und Kanäle weit genug, so kann das beste Verhältniss für verschiedene Zustände der Atmosphäre und verschiedene Benützungsweisen der Zimmer durch Beobachtungen mittels der Regulirungsvorrichtungen und Anemometer gefunden und für die Zukunft festgestellt werden.

§. 241.

Schlussbemerkungen über die Luftheizung.

Ein Rückblick auf die obigen Mittheilungen und Untersuchungen über Ventilation, Heizung im Allgemeinen und speciell über die Luftheizung lässt erkennen, dass für den Entwurf und die Ausführung guter Luftheizungsanlagen *Vieles* zu berücksichtigen ist, was bei älteren Anlagen dieser Art unbeachtet gelassen wurde. Damit erklärt sich die nicht zu leugnende Thatsache, dass es viele mangelhafte Luftheizungen gibt; es lässt sich aber danach auch behaupten, dass es durchaus nicht ausser dem Bereiche der Möglichkeit liegt, solche Anlagen ihrem Zwecke völlig entsprechend auszuführen.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird man hauptsächlich folgende Punkte vor Augen haben müssen, in welchen das Wesentlichste der vorausgegangenen Abhandlungen zusammengefasst ist.

1) Vor Allem dürfen Architekten und Heizungsingenieure dem in der Regel ausgesprochenen Wunsche des Bauherrn, die Heizungsanlage möglichst *wohlfeil* auszuführen, *kein Gehör geben*; lieber soll man auf die Ausführung verzichten, als wegen Kostenersparung eine Anlage ausführen, deren Leistung voraussichtlich nicht befriedigt oder auch nur zweifelhaft ist.

2) Die *Querschnitte der Kanäle* für Zuführung reiner Luft, Weiterführung warmer Luft und Abführung der Zimmerluft, sowie der Querschnitt des Heizschornsteins müssen für jeden speci-

ellen Fall nach einer gewissenhaften Berechnung mit Rücksicht auf die Localbenützung festgestellt werden, wo nicht ganz analoge Fälle eine sichere Grundlage bilden.

3) Die Zuleitung der kalten Luft zur Heizkammer muss so angelegt und eingerichtet werden, dass nur reine Luft in die Heizkammer gelangt und in dem Zuleitungskanal die Luft niemals mit dem Grundwasser, mit schlechter Bodenluft, faulenden Körpern u. dgl. in Berührung kommen kann.

4) Letzteres gilt auch für die Heizkammer, welche ferner jedenfalls so gross sein muss, dass man selbst bei der stärksten Heizung überall in die Nähe der verschiedenen Ofentheile gelangen kann, um solche zu besichtigen; aus diesem Grunde soll die Heizkammer auch bequem zugänglich sein, die Heizkammerthür nicht vermauert werden.

5) Nach Umständen ist durch Luftkammern und Luftfilter für Reinigung der Luft vor ihrem Eintritt in die Heizkammer zu sorgen.

6) Der Ofen soll aus Gusseisen bestehen, einfach und dicht sein, solche Wanddicke und eine so grosse Heizfläche haben, dass man den Zweck der Erwärmung der Räume erreichen kann, ohne den Ofen bis zum Glühen oder auch nur so stark erhitzen zu müssen, dass die feinen, in der Luft schwebenden organischen Substanzen an demselben in einer die Luft verderbenden Weise verändert werden können. Sämmtliche Ofentheile sollen jeder Zeit leicht besichtigt und auf ihre Temperatur geprüft werden können, aus welchem Grunde vom Feuer umgebene Luftleitungsröhren von der Anwendung auszuschliessen sind. Auch ist Eisenblech bei allen Theilen der Oefen und Rauchröhren, welche mit Feuergasen in Berührung kommen, in der Heizkammer nicht anzuwenden, während Strahlenfangbleche zulässig und nützlich sind.

7) Es soll eine leicht zu handhabende Vorrichtung für schnelle Wasserverdampfung angebracht werden, die jedoch nur dann in Anwendung kommt, wenn sich deren Zweckmässigkeit durch Hygrometer-Beobachtungen in den Zimmern ergibt, wenn nämlich dort das Hygrometer weniger als 40 Procent relative Feuchtigkeit zeigt, und sie soll ausser Wirkung gesetzt werden, sobald die relative Feuchtigkeit auf 60 Procent gestiegen ist.

8) Die Feuerung soll leicht zu behandeln und der Ofen leicht zu reinigen sein. Unter allen Umständen muss der Ofen so construirt sein, dass das Anmachen des Feuers und das Aufgeben des Brennmaterials ausserhalb der Heizkammer geschehen kann.

Das Betreten der Heizkammer zum Zwecke der Ofenreinigung ist nur dann zulässig, wenn jährlich einmalige Reinigung, die im Sommer geschehen kann, genügt.

9) Die leichte Untersuchung und Reinigung des ganzen Leitungssystems soll möglich gemacht sein.

10) Durch richtig berechnete Verschiedenheit der Höhenlagen der Warmluftmündungen in der Heizkammer, sowie durch Anwendung von Mischkanälen u. dgl. muss Unabhängigkeit der Ventilation von der Heizung und Gleichmässigkeit der Erwärmung von Zimmern verschiedener Lage in einem Stockwerk und in verschiedenen Stockwerken angestrebt werden.

11) Ob und in welcher Weise Vorrichtungen in Anwendung zu bringen sind, wodurch der Heizer im Keller die Temperatur und relative Feuchtigkeit der Luft der einzelnen Räume erkennen kann, ist nach Umständen in Erwägung zu ziehen.

12) Wo die Oeffnungen für Zuführung warmer Luft und Abführung der kälteren und schlechteren Luft in den Zimmern anzubringen sind, das ist für jeden speciellen Fall mit Rücksicht auf die Benützungsweise des Locals besonders zu bestimmen.

13) Möglichst gut schliessende Doppelfenster anzubringen, ist für Erreichung guter Erwärmung und guter Ventilation höchst zweckmässig.

14) Circulations-Heizung, das heisst Leitung der Luft aus den Zimmern in die Heizkammer zur Wiedererwärmung, soll für Wohnräume, Schulen u. dgl. *nicht* zur Anwendung kommen, selbst beim Anheizen nicht; es sollen solche Räume vielmehr nur mit *Ventilation* geheizt werden.

15) Der Heizschornstein und die Ventilations-Schornsteine sind mit guten Windkappen zu versehen.

Ueber *Kohlenoxydgas* und *Lufttrockenheit* folgen Abhandlungen nach Besprechung sämmtlicher Heizungssysteme; denn die Kohlenoxydfrage ist nicht ausschliesslich bei der Luftheizung von Bedeutung, und die Trockenheitsfrage ist eine noch allgemeiner eingreifende, sie macht sich bei einer jeden Heizung geltend, welche mit ausgiebiger Ventilation combinirt ist. *Nachtheile* hat die Luftheizung principiell nicht; ihre *Vorzüge* sind bedeutend, wo ihre Anwendung überhaupt am rechten Platze ist. Von der relativen Zweckmässigkeit der verschiedenen Heizmethoden wird in §. 278 die Rede sein.

Die Dampfheizung.

§. 242.

Allgemeine Beschreibung von Dampfheizungssystemen.

Die Dampfheizungssysteme bezwecken die Erwärmung der Räume mittels Wasserdampfes, welcher ausserhalb jener Räume erzeugt und in diese geleitet, daselbst in geeigneten Röhren oder Gefässen in Folge der Wärmeabgabe dieser durch Ausstrahlung und Luftberührung sich abkühlt und condensirt, wobei das gebildete Condensationswasser beständig oder von Zeit zu Zeit abgeleitet wird.

Die wesentlichen Bestandtheile einer Dampfheizung müssen daher folgende sein:

1) Der Dampferzeugungsapparat, eine vollständige Dampfkesseleinrichtung.
2) Die Röhren zur Vertheilung und Fortleitung des Dampfes an jene Stellen, wo dessen Wärme benützt werden soll.
3) Die Wärmeröhren oder Condensationsgefässe, welche die Dampfwärme in den zu heizenden Räumen abgeben.
4) Die Rückleitungs- oder Condensationswasserleitung, nämlich Röhren, in welchen das durch die Condensation des Dampfes entstandene Wasser in den Kessel zurück oder an eine andere Stelle geleitet wird. Diese Röhren sind jedoch nicht immer besonders vorhanden, indem bei gewissen Einrichtungen für die Rückleitung des Condensationswassers zum Kessel zugleich die Vertheilungs- und Wärmeröhren dienen.

Durch die folgenden Figuren sind verschiedene Dampfheizungssysteme in den Hauptlinien dargestellt; dabei ist jedesmal der Dampfkessel und in einigen Figuren auch ein zur Speisung desselben dienender Wasserbehälter nebst Standröhre angedeutet, Gegenstände, von welchen weiterhin ausführlicher die Rede sein wird.

Vorläufig mag hierzu nur bemerkt werden, dass bei sehr ausgedehnten Dampfheizungsanlagen der Ueberdruck des Dampfes über den äusseren Luftdruck $1/2$ bis 5 Atmosphären betragen kann, dass man jedoch bei gewöhnlichen für ein einziges Gebäude bestimmten Dampfheizungen Dampf von niederer Spannung, von nur $1/4$ bis $1/3$ Atmosphäre Ueberdruck benützt, durch welchen also eine kalte Wassersäule von $2\,1/2$ bis $3\,1/3$ Meter Höhe gehoben werden kann, da hier (nach S. 114) als

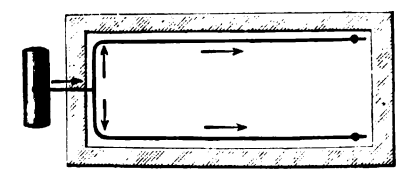
Atmosphärendruck der Druck von 1 kg auf 1 qcm anzunehmen ist, welcher eine Wassersäulenhöhe von 10 m entspricht. Das Volumen der 10 m hohen Wassersäule von 1 qcm Grundfläche ist nämlich 1 . 10 . 100 = 1000 cbcm oder 1 cbdm, und das Gewicht von 1 cbdm Wasser ist 1 kg.

Dieses gilt für Wasser im Zustande der grössten Dichtigkeit. Hat das Wasser die Temperatur 100° C., so ist die dem Atmosphärendruck entsprechende Wassersäulenhöhe nach S. 86 grösser als 10 m, nämlich 10,43 m. Desshalb soll für $^1/_3$ Atmosphäre Ueberdruck der Speisungsbehälter so hoch angebracht werden, dass in diesem das Niveau sich nahezu $3^1/_2$ m über das Niveau des Wassers im Kessel stellen kann.

Wie aus dem Nachfolgenden einleuchten wird, ist eine solche oder andere Speisungsvorrichtung auch dann nothwendig, wenn man das Condensationswasser immer wieder zum Kessel führt. Die Art und Weise dieser *Rückleitung* und das möglichst rasche und vollständige *Austreiben der Luft* aus dem Röhrensystem, das sind Hauptpunkte, welche bei der Beurtheilung der Zweckmässigkeit einer Dampfheizungsanlage zu berücksichtigen sind.

Fig. 322.

Fig. 323.

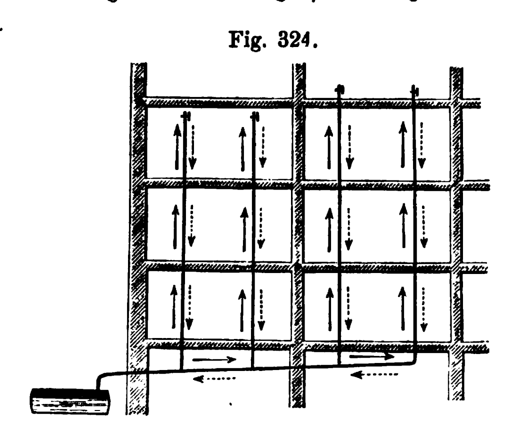


Die Figuren 322 und 323 veranschaulichen im Aufriss und Grundriss ein sehr einfaches Dampfheizungssystem für drei übereinander liegende Säle. Von der Decke des Dampfkessels geht die *Vertheilungsröhre* ab, welche wegen ihrer vorzugsweise lothrechten Führung auch *Standröhre* oder *Steigröhre* heisst. Von dieser Steigröhre aus verzweigen sich die *Wärmeröhren*, und zwar je zwei gleich hoch in jedem Saale fortlaufend, sämmtliche etwas ansteigend, so dass auf demselben Wege das Condensationswasser in den Kessel zurückfliesst. Durch die voll gezeichneten Pfeile ist die Dampfströmungsrichtung, durch die punktirten die Bewegungsrichtung des Condensationswassers bezeichnet. An den Enden der Wärmeröhren sind Hähne oder Luftventile, sogenannte *Bläser*, angebracht, welche beim Anheizen so lange geöffnet sein sollen, bis die

Luft durch den Dampf ausgetrieben ist, was daran erkannt wird, dass Dampf auszuströmen beginnt. Wo die Benützung der Localitäten es nicht gut gestattet, diese Ausströmung daselbst geschehen zu lassen, verlängert man die Röhren durch die Mauer hindurch, wie in Fig. 322 im mittleren Saale angedeutet ist. Bei diesem System veranlasst die entgegengesetzte Bewegung der beiden Flüssigkeiten, des Dampfes und Wassers, Bewegungswiderstände, welche verhältnissmässig weite Röhren bedingen.

Ein anderes System, wobei in Bezug auf die entgegengesetzte Strömung das Nämliche gilt, ist in Fig. 324 dargestellt. Da hier jedoch anstatt der verticalen Steigröhre eine nur wenig ansteigende Vertheilungsröhre in Anwendung gebracht ist, dagegen die Wärmeröhren vertical sind, tritt der Umstand günstiger auf, dass in den Wärmeröhren das Wasser leichter herabfliesst und die Dampfströmung weniger hindert. Allein weniger günstig ist es, dass die Luft an den oberen Enden der verticalen Röhren auszutreiben ist, zu welchem Zwecke Hähne oder Ventile in der Nähe der Zimmerdecke in den obersten Räumen oder im Dachraum zu öffnen sind. Diese Umbequemlichkeit ist um so grösser, weil es lange dauert, bis die Luft ziemlich vollständig oben ausgetrieben ist. Selbstthätige Bläser (§. 247) werden hierbei dem Zwecke nicht genügend entsprechen.

Fig. 324.



In engen Röhren wird die Luft, namentlich wenn der Dampf am höher liegenden Röhrenende einströmt, wie ein Kolben fortgeschoben. Dieses geschieht weniger vollständig und gleichmässig, wenn die Strömung aufwärts gerichtet ist. Bei der aufwärts gerichteten Dampfleitung tritt leicht eine Doppelströmung und zweckwidrige Mischung des Dampfes mit der Luft ein, und zwar desto leichter, je weiter die Röhren sind; denn die Luft ist specifisch schwerer als Wasserdampf von gleicher Temperatur und Spannkraft (§. 56). Die Spannkräfte gleichen sich rasch aus, und die Temperatur der Luft in den Röhren ist bei Beginn der Dampfeinströmung weit geringer als die des Dampfes. Aehn-

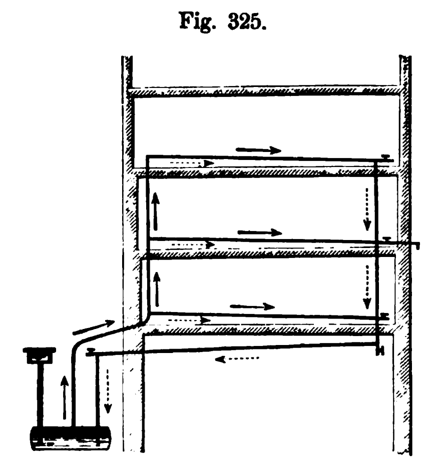
liches gilt bei stattfindender Vermischung für die feuchte Luft, als ein Gemenge von Dampf und Luft, dem Dampfe gegenüber (§. 57).

Wendet man anstatt der Lufthähne selbstthätige Luftventile an, welche bei höherer Temperatur die Röhren schliessen, so kann es vorkommen, dass die Dampfwärme die Schliessungstemperatur hervorgebracht hat, obgleich sich noch Luft in den Röhren befindet.

Daraus geht hervor, dass es besser ist, die Luft nach unten austreiben zu lassen, und dieses wird gleichzeitig erreicht mit den vortheilhafteren Einrichtungen für Parallelströmung des Dampfes und Condensationswassers, wobei jedoch die Systeme etwas an ihrer Einfachheit verlieren, wie die folgenden Darstellungen zeigen.

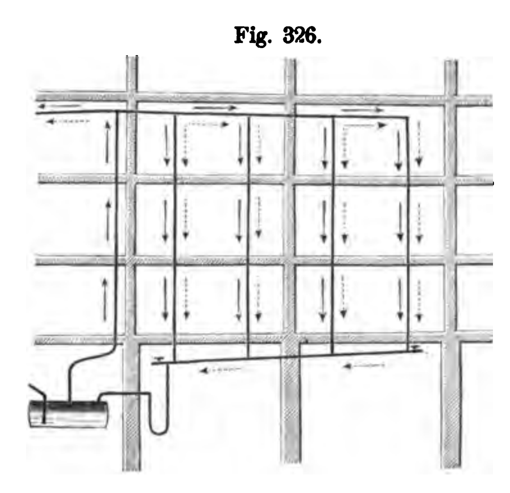
Bei Fig. 325 gehen von der wie bei Fig. 322 angebrachten Steigröhre die Wärmeröhren ab, letztere aber nicht ansteigend, sondern fallend. Das Condensationswasser kann also nicht wie dort in den Kessel zurückfliessen, sondern muss auf einem besonderen Wege dahin geführt werden. Das untere Ende der Rückleitungsröhre befindet sich hier nahe am Boden des Kessels, also unter Wasser. Beginnt die Dampfentwickelung, und sind die Lufthähne an den tiefsten Stellen der Wärmeröhren offen, so wird alsbald durch den Dampfdruck im Kessel das Wasser in der Rückleitungsröhre eben so hoch gehoben werden können, als in dem Speisungsbehälter oder dessen Standröhre, also vielleicht auf nahezu 3 ½ Meter. Es können zwar Absperrungsvorrichtungen angebracht werden, man soll aber auf diese nicht zu viel vertrauen, weil sie zuweilen nicht richtig gestellt sind oder auch bei richtiger Stellung den Dienst versagen können. Um ohne Rücksicht auf solche Absperrvorrichtungen die Luft aus der Rückleitungsröhre, welche auch noch als Wärmeröhre dienen hann, möglichst vollständig zu entfernen, und die Anfüllung derselben mit emporgehobenem Kesselwasser zu verhüten, macht man den unteren verticalen Theil der Rückleitung nahezu 3 ½ Meter lang, vom normalen Niveau im Kessel an gemessen, und bringt darüber am tiefsten Ende der schrägen Rückleitungsröhre einen Lufthahn an.

Fig. 325.



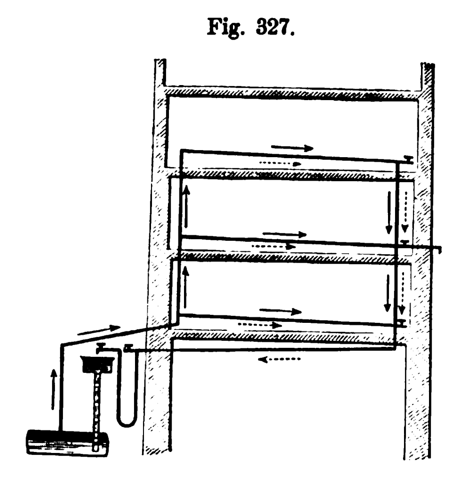
Die Einrichtung Fig. 326 hat mit jener in Fig. 324 Aehnlichkeit, unterscheidet sich aber von ihr wesentlich darin, dass der Dampf vom Kessel ab zuerst bis an die höchste Stelle der Wärmeröhren hinauf und dann in diesen zugleich mit dem Condensationswasser herabgeführt wird. Die Luft wird hier rascher und regelmässiger unten ausgetrieben.

Fig. 326.



Die Rückleitungsröhre ist hier nicht wie bei Fig. 325 in das Wasser des Kessels hinabgeführt, sondern mündet an der Kesseldecke ein. Wäre diese Einmündung und Röhrenendigung einfach wie in Fig. 324, so würde eben so wie dort, aber hier in zweckwidriger Weise, Dampf durch die Rückleitungsröhre emporströmen können. Um dieses zu verhüten, ist vor der Mündung ein umgekehrter Heber, ein Wassersack gebildet. Ist der längere Schenkel dieses Hebers nahezu $3^1/_2$ Meter lang, der kürzere wenigstens halb so lang, so enthält der bis zur Höhe der Kesseldecke gefüllte Wassersack genügend viel Wasser, um für den Dampf einen zweckentsprechenden Wasserschluss zu bilden.

Fig. 327.



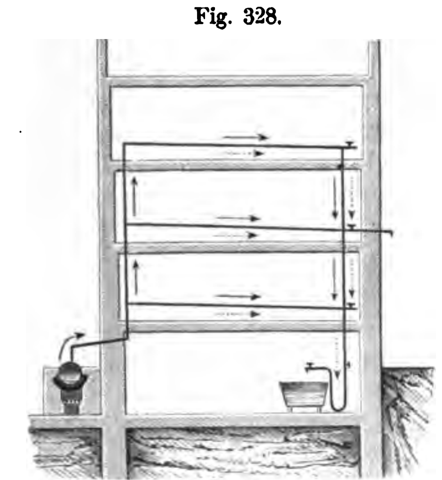
Diese letztere Einmündungsweise ist der in Fig. 325 dargestellten da vorzuziehen, wo der Dampfkessel nicht so tief gesetzt werden kann.

Anstatt das Condensationswasser direct in den Kessel zu leiten, kann man es nach Fig. 327 in den Speisungsbehälter fliessen lassen. Durch Anwendung eines entsprechend grossen Wassersacks verhütet man sowohl die Dampfentweichung daselbst, als auch

das Eindringen der Luft, was erfolgen würde, wenn durch starke Condensation und zufällig verminderte Dampfentwickelung ein Ueberdruck der äusseren Luft entsteht.

In manchen Fällen ist es von Nutzen, das Condensationswasser in einem besondern Behälter zu sammeln (Fig. 328), um es nach Bedürfniss für Haushaltungs- und gewerbliche Zwecke zu benützen, oder, etwa mit Anwendung einer Pumpe, nach dem Speisungsbehälter des Dampfkessels zu fördern.

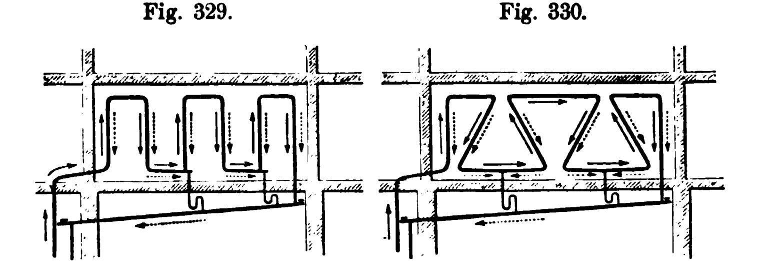
Fig. 328.



Man kann die Wärmeröhren auch abwechselnd in horizontalen und verticalen oder schrägen Richtungen hin und her führen, wie in Fig. 329 und 330 angedeutet ist.

Abrundung scharfer Ecken ist namentlich bei solchen aufwärts und abwärts geführten Leitungen aus dem Grunde wichtig, weil alsdann

Fig. 329. Fig. 330.



die Luft leichter fortgeschoben und ausgetrieben wird, während bei scharfen Ecken Wirbel entstehen, welche eine innige Vermischung von Dampf und Luft veranlassen.

Die Einzelheiten obiger Darstellungen lassen sich noch mehrfach in anderer Weise combiniren, auch kann man mehrere Röhrensysteme nach verschiedenen Richtungen von einem Dampfkessel ausgehen lassen, wenn seine Grösse dem Umfange der Systeme angepasst wird.

Nach dieser allgemeinen Skizzirung von Dampfheizungssystemen sollen die einzelnen Bestandtheile genauer betrachtet werden.

§. 243.

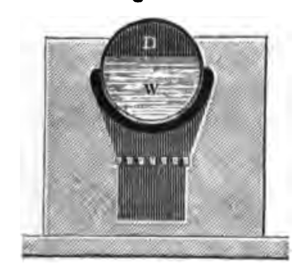
Die Dampfkesseleinrichtung.

Eine ausführliche Abhandlung über die verschiedenen Dampfkessel zu geben, liegt nicht im Zwecke dieses Buches; das ist Sache des Maschinenbaues. Dampfkessel, welche zum Betrieb von Maschinen dienen, werden oft nebenbei für Dampfheizung in Fabriksälen benützt. Allein an gegenwärtiger Stelle ist die Dampfkesseleinrichtung nur in so weit zu betrachten, als sie speciell für die Dampfheizung dient, und zwar zunächst für die Heizung der Räume eines Gebäudes von nicht allzugrosser Ausdehnung.

Der Dampfkessel ist da in der Regel für Niederdruck eingerichtet, d. h. er soll Dampf produciren, dessen Druck den einer Atmosphäre wenig übersteigt. Nimmt man als Maximum des Drucks 1,3 Atmosphären an, so entspricht diesem Druck eine Dampftemperatur von ungefähr 107,5° C.

Ein gewöhnlicher einfacher Dampfkessel ist ein durch Zusammennietung von starken Eisenblechtafeln gefertigtes geräumiges cylindrisches Gefäss, welches theilweise mit Wasser gefüllt dem heissen Strome der von einem Feuerherd nach einem Schornstein ziehenden Verbrennungsgase und zum Theil den Flammen und Strahlen des glühenden Brennmaterials ausgesetzt ist. Die directe Heizfläche soll ungefähr $^2/_3$ der totalen Heizfläche ausmachen, und die totale Heizfläche nimmt bei dem Walzenkessel wenigstens die Hälfte von der ganzen Cylinderfläche ein.

Fig. 331.



Der ganze Fassungsraum eines Kessels besteht aus dem Wasserraum und Dampfraum, in Fig. 331 mit W und D bezeichnet. Derjenige Raum, welcher mit Wasser gefüllt sein soll, heisst der Wasserraum, und die Wassermenge, welche dieser Raum fasst, heisst die Wassermasse des Kessels. Dampfraum nennt man jenen Raum des Kessels, welcher bei normalem Betrieb mit Dampf angefüllt ist.

Ein grosser Wasserraum eines Kessels, beziehungsweise eine grosse Wassermasse, ist ein vorzügliches Mittel, den Betrieb zu reguliren. Doch darf der Dampfkessel auch nicht zu hoch mit Wasser gefüllt sein; denn auch ein grosser Dampfraum ist insofern wichtig, als er zur Ansammlung

einer entsprechenden Dampfmenge im Kessel dient. Je grösser dieser Dampfraum ist, desto gleichmässiger wird der Dampf aus dem Kessel strömen und um so weniger Wassertheilchen wird der Dampf mit sich fortreissen. Ferner kann bei grossem Dampfraum die Spannung des Dampfes nicht leicht in solchem Grade zunehmen, dass die Gefahr einer Explosion entsteht, vorausgesetzt, dass der Dampfraum nicht fehlerhafter Weise bis in den Feuerraum reicht. Der Dampfraum soll $^1/_3$ bis $^4/_{10}$ des ganzen Fassungsraumes ausmachen, der Wasserraum also $^6/_{10}$ bis $^2/_3$ des Fassungsraumes, und der normale Wasserraum soll 10 cm über den Feuerraum reichen.

Wenn der grösste Theil der Wandungen des Wasserraums in zweckmässiger Weise dem Feuer ausgesetzt ist, geben die Verbrennungsgase ungefähr $^3/_4$ ihres Wärmegehalts an die Wassermasse ab. Im Beharrungszustande wird der dadurch gebildete Dampf aus dem Kessel weggeleitet und das verdampfte Wasser wird wieder ersetzt.

Das in jeder Secunde zu ersetzende Wasserquantum ist im Verhältniss zum ganzen Wasserinhalte des Kessels so gering, dass an allen Stellen des Wassers fast die gleiche Temperatur vorhanden und folglich die Heizfläche als eine solche zu betrachten ist, welche in §. 196 mit Rücksicht auf die alleinige Strömung der Feuergase als Einstrom-Heizfläche bezeichnet wurde.

Es sind jedoch Dampfkessel auch in sehr verschiedenen anderen Gestalten ausgeführt; sie bestehen oft aus einigen oder vielen Röhren, zuweilen aus flachen, kastenförmigen Gefässen, wodurch man eine sehr grosse Heizfläche und den Vortheil der Gegenstrom-Heizfläche gewinnen kann, aber die Vorzüge der Einfachheit, Sicherheit und Dauerhaftigkeit zum Theil verliert.

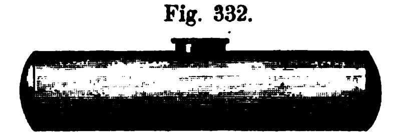
Eine im Verhältniss der stündlich zu verbrennenden Brennstoffmenge grosse Heizfläche ist unbestreitbar ökonomisch; aber das Güteverhältniss des Kessels wächst nicht proportional mit der Heizfläche, sondern nach einem Exponentialgesetz in der Weise, dass das Güteverhältniss nicht mehr bedeutend grösser wird, wenn einmal die Heizfläche eine gewisse Grösse hat; das befriedigende Güteverhältniss von ungefähr 75 Procent kann mit einer mässig grossen Heizfläche erreicht werden.

Ferner ist bei einem Kessel für Dampfheizung, wo die Erzeugung einer sehr hohen Temperatur der zu erwärmenden Flüssigkeit nicht nothwendig ist, und wo man überdies die Wärme der abziehenden Verbrennungsgase noch für Ventilationszwecke ausnützen kann, die Gegenstromheizfläche der Einstromheizfläche kaum vorzuziehen.

Von der Form des Kessels hängt auch die Festigkeit und Dauerhaftigkeit, das Widerstandsvermögen gegen Deformation vorzugsweise ab. In dieser Beziehung sind die besten Kesselformen die Kugel und der Kreiscylinder. Die Kugelform veranlasst für die Herstellung bedeutende Schwierigkeiten und Kosten. Es verdient also für vorliegenden Zweck der cylindrische oder einfache Walzenkessel empfohlen zu werden.

Die Länge des Cylinders beträgt das 4- bis 6-fache des Durchmessers, und die Enden sind mit convexen, kugel-segmentartigen Flächen geschlossen (Fig. 332 und 333). In der oben angebrachten kurzen Ansatzröhre befindet sich das Mannloch, eine ovale Oeffnung, durch welche ein Mann zum Zwecke der Kesselreinigung einsteigen kann, welche aber während des Betriebs durch eine aufgeschraubte Deckplatte dicht geschlossen ist.

Fig. 332. Fig. 333.



Aus dieser denkbar grössten Einfachheit resultirt die billigste Anlage, sowie auch grosse Dauerhaftigkeit, Betriebssicherheit und Bequemlichkeit beim Reinigen. Auch der grosse Dampfraum des Walzenkessels ist immer ein Vorzug, und bei dem in der Regel ziemlich continuirlichen Betrieb der Dampfheizung sind ebenso der grosse Wasserraum und die grosse Mauerheizfläche vortheilhaft.

Fig. 334 veranschaulicht die gewöhnliche Einmauerung eines einfachen Walzenkessels im Längenschnitt mit Andeutung der meisten Zugehörigkeiten. Die untere Hälfte des Kessels liegt im Feuerzuge. Unter dem vorderen Theile des Kessels ist der Rost angebracht, welcher durch die Feuerthür beschickt wird. Die Luft zur Verbrennung gelangt vom Aschenfallraum durch den Rost an das Brennmaterial. Der Feuerzug fällt an dem hinteren Ende des Kessels schräg nach unten und geht in den Fuchs über, welcher den Rauch in den Schornstein führt und mit einem Schieber zum Reguliren des Luftzugs versehen ist.

An der vorderen Seite des Kessels ist ein Wasserstandsglas angedeutet, ferner über dem Kessel ein Sicherheitsventil, das Mannloch mit Luftventil, ein Speisungsapparat mit Schwimmer und eine aufgesetzte Büchse, von welcher die Dampfleitung ausgeht. Ein solcher Aufsatz wird zuweilen in grösseren Dimensionen angewendet, um mehrere Dampfröhren daran anzubringen und den Dampf

möglichst trocken wegzuleiten: er wird alsdann auch **D a m p f d o m** oder kurzweg **D o m** genannt.

Die Vorrichtungen, welche entweder zur richtigen und regelmässigen

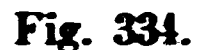
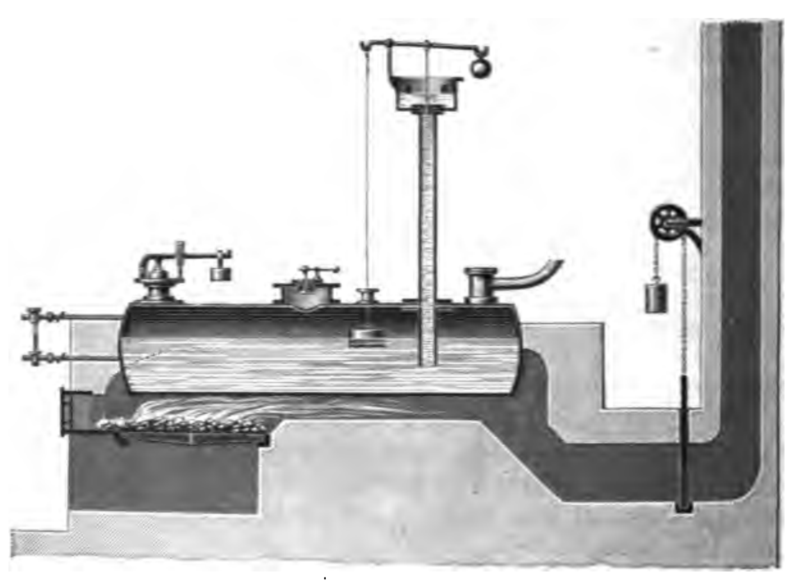


Fig. 334.



Bedienung des Dampfkessels oder zur Sicherheit gegen Explosion dienen, bilden die sogenannte f e i n e K e s s e l g a r n i t u r zum Unterschiede von der g r o b e n Kesselgarnitur, wozu man die Bestandtheile des Feuerungsapparates, also Roste, Rauchschieber, Verankerungen u. dgl. rechnet. Die Bestandtheile der feinen Kesselgarnitur sollen nun der Reihe nach genauer beschrieben werden.

§. 244.

Vorrichtungen zur Erkennung des Wasserstandes im Dampfkessel, Wasserstandszeiger.

Es ist oben angegeben, dass der Dampfkessel nur auf $^{6}/_{10}$ bis $^{2}/_{3}$ seines Fassungsraumes mit Wasser gefüllt sein soll. Wenn nun Wasser als Dampf entweicht und nicht sofort wieder ersetzt wird, verringert sich der Wasserstand, während der Dampfraum zunimmt. Würde der Wasserstand unter die sogenannte F e u e r l i n i e sinken, nämlich so tief, dass der obere Theil der Heizfläche innen nicht mehr vom Wasser be-

deckt wäre, so würde dieser Theil der Heizfläche die von aussen mitgetheilte Wärme nicht rasch genug nach innen abgeben können, weil der Wärmeübergang von Luft in Dampf viel geringer ist, als von Luft in Wasser; er würde leicht bis zur Rothglühhitze erhitzt. Das Wasser aber, welches in Folge der wallenden Bewegung beim Sieden mit der glühenden Fläche in Berührung kommt, würde sehr schnell verdampfen, und es würde plötzlich eine so übermässige Dampfentwicklung erfolgen, dass dadurch ein Zerspringen des Kessels verursacht werden könnte. Aus diesem Grunde ist es eine Hauptaufgabe des Heizers oder Kesselwärters, dafür zu sorgen, dass durch entsprechenden Ersatz des verdampften Wassers der richtige Wasserstand erhalten bleibe. Um aber den Wasserstand zu erkennen, sind Wasserstandsmesser oder Wasserstandszeiger nothwendig.

Wohl die zuverlässigste Vorrichtung dieser Art ist das Wasserstandsglas, auch das Niveau genannt, in Verbindung mit dem Dampfkessel bei Fig. 334 angedeutet. Eine etwa 30 cm lange mit Skala versehene und in Messing oder Kupfer gefasste Glasröhre ist oben und unten durch kupferne Röhren so mit dem Kesselraum in Communication gesetzt, dass die untere Röhre in den Wasserraum, die obere in den Dampfraum mündet. Jede der beiden Röhren ist zwischen der Fassung der Glasröhre und dem Kessel mit einem Hahn versehen und am äusseren Ende mit einer Schraube. Sind die Hähne geöffnet, so stellt sich das Wasser in der Glasröhre eben so hoch wie im Kessel, der Wasserstand daselbst sowie das Steigen und Sinken desselben ist also leicht zu erkennen. Die Endschrauben werden nur zum Zwecke der Reinigung der Röhren gelöst; man kann nämlich alsdann einen Draht durch die Röhren bis in den Kessel stossen. Um von Zeit zu Zeit die Glasröhre, welche durch erdige Ansätze trüb wird, zu reinigen, bedient man sich einer kleinen cylindrischen Bürste. Damit die Bürste eingeführt werden kann, ist die Fassung unten mit einem Hahn und einer Schraube geschlossen, welche zum Zwecke des Reinigens geöffnet werden. Als Befestigungs- und Dichtungsmittel der Glasröhre in der Fassung genügt für niederen Druck ein Kitt von Leinöl, Bleiweiss und Mennige.

Andere Vorrichtungen zum Anzeigen des Wasserstandes sind Schwimmer, nämlich geschlossene Blechgefässe oder Steinplatten in Verbindung mit äusseren Hebel- und Zeigervorrichtungen. Solche Schwimmerapparate sind jedoch nicht genügend zuverlässig; denn sie spielen nicht immer leicht genug.

Auch Probirhähne dienen zur annähernden Erkennung des

Wasserstandes. Man benützt gewöhnlich zwei mit Hähnen schliessbare Röhrchen, von welchen das eine etwas über dem normalen Wasserstande in den Dampfraum, das andere etwas unter dem normalen Wasserstande in den Wasserraum mündet. Aus dem oberen Röhrchen darf nur Dampf, aus dem unteren nur Wasser ausströmen. Mitunter findet man noch ein drittes Röhrchen zwischen diesen angewendet, aus welchem beim Normalwasserstand Wasser und Dampf ausströmen muss. Solche Probirhähne sollen immer so eingerichtet sein, dass man behufs der Reinigung der Röhrchen, wie auch für das Wasserstandsglas angegeben ist, einen Draht in gerader Richtung bis in den Kesselraum durchstossen kann.

§. 245.

Vorrichtungen zur Erhaltung des richtigen Wasserstandes im Dampfkessel, Speisungsapparate.

Man nennt das Ersetzen des verdampften Wassers das Speisen des Kessels und die dazu dienenden Vorrichtungen Speisungsapparate.

Für das Füllen eines Dampfheizungskessels mit der im Beharrungszustande nöthigen Wassermenge bei beginnender Heizperiode oder nach dem Reinigen des Kessels könnte irgend eine schliessbare Oeffnung über dem Wasserraume, etwa das Mannloch dienlich sein, und zu weiterer Speisung wird zweckmässig das Condensationswasser benützt, weil dadurch die anderweitige Beschaffung einer gleichen Wassermenge gespart wird, ferner weil das Condensationswasser eine höhere Temperatur hat als das gewöhnliche Wasser an der Atmosphäre und weil es als destillirtes Wasser nicht wie jenes Salze aufgelöst enthält, folglich keinen Kesselstein bildet. Würde kein Dampf verloren gehen und ein constanter Rücklauf des Condensationswassers stattfinden, so wäre die einmal genügend vorhandene, normale Wassermasse auch fortwährend genügend und es bliebe während des Beharrungszustandes der Heizung das Niveau im Kessel auf der Höhe des Normalwasserstandes. Es entstehen aber durch Undichtigkeit der Röhren und durch Verdunstung bei offenen oder nicht dicht geschlossenen Sammelgefässen, mehr noch durch das Austreiben der Luft beim Anheizen und durch sonst zuweilen nothwendiges Oeffnen der Hähne und Ventile Verluste, und der Rücklauf erleidet Unterbrechungen, so dass Wasserstandsveränderungen im Kessel vorkommen, welche die Beobachtung der Wasserstandszeiger und den Ersatz des verlorenen Wassers nothwendig machen.

In der allgemeinen Beschreibung der Dampfheizungseinrichtungen ist bereits Einiges in Bezug auf die Kesselspeisung angedeutet worden, worauf hier näher eingegangen werden mag.

Lässt man das Condensationswasser durch die ansteigenden Dampfleitungsröhren selbst wieder in den Kessel zurückfliessen, so gestaltet sich die Einrichtung verhältnissmässig einfach und scheinbar ökonomisch, weil die Rückleitungsröhren und die damit verbundenen Vorrichtungen gespart werden, auch das Condensationswasser sehr warm wieder in den Kessel gelangt. Dagegen werden die Anlagekosten dadurch erhöht, dass die Dampfleitungsröhren grössere Weite haben müssen, wenn das Zurückfliessen des Condensationswassers dem Dampf entgegen ohne Störung vor sich gehen soll. Dann entstehen bei den weiteren Leitungsröhren auch leichter Wärmeverluste, und im Allgemeinen entspricht es dem Zwecke besser, die Wärme des Condensationswassers möglichst für die Heizung der Räume auszunützen, bevor es wieder in den Kessel gelangt.

In vielen Fällen wird es daher vortheilhafter sein, die Dampfleitung zuerst auf dem kürzesten Wege bis zu dem obersten der zu heizenden Räume aufsteigen zu lassen, ihr aber dann bis zum Kessel Gefälle zu geben. Doch kann in diesem Falle das Condensationswasser in den Kessel nur dann zurückfliessen, wenn der specifische Druck, welcher sich aus dem Gewichte der Condensationswassersäule und dem darüber bestehenden Dampfdruck zusammensetzt, grösser ist als der Dampfdruck im Kessel. Ausserdem erfolgt eine Erhebung des Wassers in der Rücklaufröhre und ein Sinken des Wasserstandes im Kessel, ein Missstand, welcher hauptsächlich im Anfange der Dampfentwicklung leicht vorkommen kann. Er lässt sich vermeiden dadurch, dass man im unteren Theile der Rücklaufröhre ein Ventil anbringt, welches sich nur durch den Ueberdruck von oben nach unten öffnet. Aber die Kesselspeisung ist damit noch nicht gesichert, das Ventil kann geschlossen sein, während doch der Wasserstand im Kessel zu niedrig ist, und das Condensationswasser kann einen Theil der Röhren füllen, in welchen sich der Dampf, um seine Wärme abzugeben, erst condensiren sollte.

Da demnach der directe Rücklauf des Wassers zum Kessel nur in einigen besonderen Fällen möglich ist, überall aber nur auf eine kurze Zeit genügen kann, muss man besondere Speisungsapparate anbringen.

Der einfachste Speisungsapparat besteht in einem geräumigen, hinlänglich hoch über dem Kessel angebrachten offenen oder nur leicht geschlossenen Behälter und einer damit in Verbindung stehenden Röhre, welche in dem Kessel bis nahe an dessen Boden hinabreicht

und mit einem Hahn versehen ist. Die Höhe des Wassers im Behälter über jenem im Kessel muss grösser sein als die Wassersäulenhöhe, welche dem Dampfdruck im Kessel entspricht; dann strömt nach dem Oeffnen des Hahns das Wasser in den Kessel. Kommt die Dampfspannung im Kessel auf $1\frac{1}{3}$ Atmosphären, also auf $\frac{1}{3}$ Atmosphäre Ueberdruck, so wird die äussere Wassersäule nahezu $3\frac{1}{2}$ Meter hoch sein müssen (§. 242).

Die Einfachheit dieses Speisungsapparates macht ihn doch nicht zum zweckmässigsten, weil er die fortwährende Aufmerksamkeit und Thätigkeit des Kesselwärters mehr als der folgende in Anspruch nimmt, bei welchem ein Schwimmer die Regulirungsarbeit verrichtet.

Derartige automatische Apparate leiden zwar an Unvollkommenheiten, und es ist bereits in §. 244 erwähnt, dass Schwimmerapparate als Wasserstandsanzeiger nicht zuverlässig genug sind. Allein neben einem Wasserstandsglase, welches eine am Schwimmer eingetretene Unordnung leicht erkennen lässt, sind Schwimmerapparate überhaupt und speciell als selbstthätige Speisungsvorrichtungen zweckmässig.

Eine solche ist in Fig. 334 ersichtlich. Die Wasserzuflussröhre am Kessel, die Speisungsröhre, steht wie bei der vorgenannten einfachen Speisungsvorrichtung mit einem Wasserbehälter in Verbindung, welcher hoch genug über dem Kessel liegen muss, um über die Dampfspannung im Kessel einen Ueberdruck zu gewähren. Die Speisungsröhre ist oben schliessbar durch ein Ventil, welches an einem doppelarmigen Hebel hängt. Dieser Hebel, einem Wagebalken ähnlich, ist um eine am Wasserbehälter befestigte Achse drehbar und trägt auf der Seite des Ventils ein bestimmtes Gewicht, am anderen Hebelarme den an einem Kupferdraht befestigten Schwimmer. Der Schwimmer ist eine Steinplatte, welche durch das anderseitige Gegengewicht in der Höhe des Wasserspiegels gehalten wird. An der Kesseldecke geht der Kupferdraht durch eine Stopfbüchse. Beim Sinken des Wasserspiegels im Kessel geht zugleich der Schwimmer und sein Hebelarm herab, während der andere Hebelarm mit dem Ventil sich hebt und dadurch dem Wasser des Behälters den Zufluss in den Kanal eröffnet. Steigt in Folge dessen der Wasserspiegel im Kessel und der Schwimmer, so senkt sich der Hebelarm mit dem Ventil alsbald wieder, das Ventil wird geschlossen.

Den Speisungsbehälter kann man oft leicht und zweckmässig mit zwei Röhren in Verbindung setzen, von welchen die eine aus einem grössern Reservoir oder aus einer Wasserleitung beständig Wasser zuführt, die andere zur Fortleitung des zu hoch steigenden Wassers dient, um das Ueberfliessen des Speisungsbehälters zu verhüten.

Nicht überall gestatten es die Localverhältnisse, den Speisungsbehälter hinreichend hoch über dem Kessel anzubringen, namentlich wo ein grösserer Ueberdruck des Dampfes als der oben bezeichnete in Anwendung gebracht werden soll. In einem solchen Falle speist man den Kessel mittels einer Pumpe, welche mit der Speisungsröhre des Kessels in Verbindung gesetzt wird. In der Speisungsröhre, welche wie jene der vorgenannten Einrichtungen bis nahe an den Boden des Kessels hinabreicht, aber in geringer Höhe über dem Kessel seitlich geführt sein kann, befindet sich das Speiseventil, ein selbstthätiges Ventil, welches sich unter dem Ueberdruck des Speisewassers öffnet und unter dem des Kesselwassers schliesst.

§. 246.

Vorrichtungen zur Erkennung der Dampfspannung im Kessel, Manometer.

Zu jedem Dampfkessel gehört ein Manometer (Dichtigkeitsmesser, Druckmesser), weil es von grosser Wichtigkeit ist, beständig die im Kessel vorhandene Dampfspannung zu kennen.

Eine zuverlässige Methode zur Bestimmung der Spannkraft des Dampfes wäre die Temperaturbestimmung, weil die Spannkraft des gesättigten Dampfes mit der steigenden Temperatur zunimmt, mit der sinkenden Temperatur abnimmt und überhaupt von der Temperatur in ganz bestimmter Weise abhängig ist. So würde z. B., wenn die Spannkraft des Dampfes auf 1½ Atmosphären steigen würde, seine Temperatur 111,7° C. sein müssen (§. 56, S. 125). Als ein zuverlässiges und einfaches Manometer kann demnach ein in den Dampfkessel eingesetztes Thermometer dienen.

Für die Anwendung bei Niederdruckkesseln sind vorzugsweise offene Quecksilbermanometer und Federmanometer geeignet.

Die Einrichtung eines offenen Quecksilbermanometers ist folgende: Es ist ein Hebermanometer. An einem in mittlerer Höhe angebrachten Hahnstück befindet sich oben das Dampfröhrchen, welches durch eine andere Röhre mit dem Kessel in Verbindung gesetzt wird. Unten am Hahnstück ist eine heberförmige (U-förmige) eiserne Röhre angeschraubt, welche auf der anderen Seite eine oben offene Glasröhre trägt, womit sie den längeren Heberschenkel bildet. Die eiserne Röhre ist bis zur Glasröhre mit Quecksilber gefüllt, welches bei der Einwirkung des Dampfdruckes im kürzeren Schenkel herabgedrückt wird, folglich

in die Glasröhre steigt. An der neben der Glasröhre aufgezeichneten Skala wird die der Steighöhe des Quecksilbers entsprechende Dampfspannung abgelesen. Das obere Ende der Glasröhre kann man in ein kleines trichterartiges Sammelgefäss endigen lassen und einen Schirm darin anbringen, damit das Quecksilber bei rascher Aufwärtsbewegung nicht weggeschleudert wird. Die Steighöhe des Quecksilbers wird durch den Druck des über dem Quecksilber stehenden Condensationswassers etwas vermehrt; trotzdem entspricht je einer Atmosphäre Ueberdruck nur eine Skalalänge von nicht ganz 40 cm, woraus hervorgeht, dass die Höhe dieses Manometers keine allzugrosse und folglich nicht eine für das Ablesen unbequeme wird.

Federmanometer, auch Metallmanometer oder Zeigermanometer genannt, gibt es viele, von welchen sich besonders das von Bourdon in Paris und das von Schäffer und Budenberg in Magdeburg als praktisch brauchbar bewährt haben.

Das Bourdon'sche Manometer enthält als Feder ein kreisförmig gekrümmtes Röhrchen von elliptischem Querschnitt, dessen kleine Achse in der Richtung des Krümmungshalbmessers liegt. Der zunehmende Druck der in das Röhrchen gelangenden Flüssigkeit wirkt auf grössere Annäherung des Querschnitts an die Kreisform und damit auf Streckung des Röhrchens. Da dieses aber an einem Ende befestigt ist, wird durch den Dampfdruck das andere Ende und damit ein Zeiger in eine andere bestimmte Stellung gebracht.

Bei dem Zeigermanometer von Schäffer und Budenberg, welches im Aeusseren jenem von Bourdon ähnlich ist, wirkt der Dampfdruck auf eine kreisförmig gewellte Stahlblechscheibe, welche zwischen Flanschen mittels Schrauben festgehalten wird. Mit der Formänderung der Stahlscheibe ändert sich durch entsprechende Uebersetzung der kleinen Bewegung die Stellung des Zeigers.

In Betreff der Benützung der Manometer ist zu bemerken, dass man die Verbindungsröhren zwischen diesen und den Dampfkesseln mit Hähnen versehen muss, durch welche die Verbindung unterbrochen und wieder hergestellt werden kann, wenn Auswechselungen und Reparaturen vorzunehmen sind. Wenn aber zum Zwecke der Beobachtung der Dampfspannung die Verbindung hergestellt werden soll, so darf der Hahn nur allmählich geöffnet werden, weil durch plötzliches Oeffnen ein Stoss auf das Manometer ausgeübt wird, welcher es in Unordnung bringen oder beschädigen kann.

§. 247.

Sicherheitsvorrichtungen.
Sicherheitsventile, Sicherheitsplatten, Luftventile.

Als Vorrichtungen zur Verminderung der Gefahr einer Kesselexplosion bei zu grosser Dampfspannung dienen die Sicherheitsventile. Sie sollen sich nach aussen öffnen und ein gewisses Dampfquantum rasch entweichen lassen, wenn die Dampfspannung jenes Mass übersteigt, für welches die Wanddicke des Kessels berechnet ist, sollen sich aber von selbst wieder schliessen, sobald die Dampfspannung auf das normale Mass zurückkommt.

In Rücksicht auf die Construction unterscheidet man flach aufliegende, Kegelventile und Kugelventile, je nachdem der Ventilsitz, d. i. die Sitzfläche des Ventils, eine ebene ringförmige Fläche bildet, oder nach einem abgestutzten Kegel oder einer Kugelzone geformt ist.

In Rücksicht auf die Belastung unterscheidet man Sicherheitsventile mit directer oder unmittelbarer Belastung, bei welchen die erforderliche Belastung unmittelbar auf der oberen Fläche des Ventils liegt, und Ventile mit indirecter oder mittelbarer Belastung, bei welchen das den erforderlichen Druck auf das Ventil ausübende Gewicht an dem Ende eines einarmigen Hebels angehängt ist, während der Druck auf das näher am Drehpunkt des Hebels liegende Ventil übertragen wird.

Ein flach aufliegendes Sicherheitsventil mit indirecter Belastung ist in Fig. 334 angedeutet. Die Ventilplatte besteht aus Bronce, wie auch gewöhnlich die Ventilbüchse. Zum Zweck der geradlinigen Führung des Ventils ist die Unterseite der Ventilplatte mit Führungsrippen, Ventilflügeln, versehen, welche die innere Fläche der Ventilbüchse berühren und an dieser beim Auf- und Niedergehen der Ventilplatte streifen.

Als sogenannte Sicherheitsplatten hat man häufig zwei leicht schmelzbare Scheiben aus einer Legirung von Wismuth, Blei und Zinn in den Dampfkessel eingesetzt. Es lassen sich Legirungen dieser Art herstellen, welche bei einer bestimmten Temperatur und zwar schon in der Nähe des Wassersiedpunkts schmelzen (§. 45). Für Niederdruckkessel wird eine Legirung von 2 Theilen Wismuth, 2 Theilen Blei und 1 Theil Zinn empfohlen, welche bei 113,3° C. schmelzen soll. Unter der Voraussetzung, dass diese Sicherheitsplatten weder durch den Gebrauch noch durch das Alter unzuverlässig werden, hat man sie als ein vorzügliches Mittel zur Verhütung solcher Kesselexplosionen betrachtet, welche

durch überhitzten oder überspannten Dampf herbeigeführt werden könnten. Genauere Untersuchungen sollen jedoch ergeben haben, dass die Schmelzpunkte der Legirungen mit der Zeit sich ändern, theils höher, theils niederer werden, und dass folglich die Anwendung solcher Scheiben keine Sicherheit auf die Dauer gewährt*).

Als weitere Sicherheitsvorrichtungen, wenn auch nicht gegen Explosionsgefahr, aber doch gegen andere Beschädigung der Apparate und folglich gegen Störung des Betriebs mögen hier die Luftventile eingereiht werden, welche bei Kesseln mit dünnen Wänden, also bei Dampfkesseln, in welchen nur Dampf von geringer Spannung erzeugt wird, zur Anwendung kommen und daher speciell für Dampfheizungen wichtig sind. Diese Luftventile haben den Zweck, ein Zusammendrücken des Kessels, dünnwandiger Röhren und anderer Condensationsgefässe zu verhüten, welches der äussere Luftdruck bewirken könnte, wenn durch Condensation des Dampfes ein fast leerer Raum im Innern entsteht. Sie öffnen sich nach innen und gestatten der Luft den Eintritt in den Kessel oder die Röhren und Condensationsgefässe. Man nennt sie auch atmosphärische Ventile zur Unterscheidung von denjenigen Luftventilen, welche die Luft aus den Dampfheizungsröhren entweichen lassen, wenn sich diese mit Dampf füllen, und welche auch Bläser genannt werden. Solche Bläser sind in der Regel kleine, mit Hähnen versehene Röhren, welche an den Enden langer Dampfleitungsstrecken angebracht werden. Bei kleinen Apparaten bestehen die Bläser aus einer an der Wandung des Condensationsgefässes angebrachten Schraube, welche einen inneren Kanal hat, der seitwärts in der Nähe des Schraubenkopfes ausgeht.

Ein für beide Zwecke, sowohl als atmosphärisches Ventil wie als Bläser dienendes selbstthätiges Luftventil besteht aus einer linsenförmigen Kapsel in einer Röhre. Die Röhre hat seitlich eine kleine Oeffnung, in welche ein kleiner Conus greift, der auf einer Calotte der linsenförmigen Kapsel fest aufsitzt. Die Calotten bestehen aus Zink und sind auf einer eisernen Scheibe befestigt. Durch die Wärme des in die Röhre gelangenden Dampfes wird das Zink mehr ausgedehnt als das Eisen, in Folge dessen bläht sich die Kapsel auf und drückt den Conus in die kleine Oeffnung, welche vorher die Luft entweichen liess. Erkaltet die Kapsel in Folge der Condensation des Dampfes ohne dessen Ersatz, so entfernt sich der Conus wieder von der Oeffnung und lässt die äussere Luft eindringen.

---

*) Péclet, Traité de la chaleur, IV. édition, Paris 1878. Tome II, pag. 68.

§. 248.

Berechnung der nothwendigen Kesselheizfläche.

Um die nothwendige Kesselheizfläche zu berechnen, muss man kennen:

1) den Werth des Wärmeüberführungscoëfficienten des Kesselmaterials zwischen Luft und Wasser;
2) die Temperatur der Wärme abgebenden Flüssigkeit, hier der Verbrennungsgase;
3) die Temperatur der Wärme aufnehmenden Flüssigkeit, hier des Wassers im Kessel.

Ist allgemein der Ueberführungscoëfficient für die Kesselfläche aus Luft in Wasser $= k$, ausgedrückt in Wärmeeinheiten pro Quadratmeter und Stunde bei 1° C. Temperaturunterschied, die Durchgangsfläche F Quadratmeter, die Temperatur der Verbrennungsgase $= T$ und die Temperatur des Wassers im Kessel $= t$, und wären diese Temperaturen constant, so wäre die stündlich übergeführte Wärmemenge:

$$W = F \cdot k\,(T - t) \text{ Calorien.}$$

Im vorliegenden Falle der Einstrom-Heizfläche ist aber nur t als constant zu betrachten, die Temperatur der Verbrennungsgase ist an der Heizfläche variabel. Sie sei T_0 über dem Rost und T_1 am hinteren Ende des Kessels. Die Einführung der mittleren Temperatur $\frac{1}{2}(T_0 + T_1)$ für T würde schon ein approximativ richtiges Resultat ergeben, nämlich die Gleichungen:

$$W = F \cdot k \left(\frac{T_0 + T_1}{2} - t\right) \text{ Calorien,}$$

$$F = \frac{2\,W}{k\,(T_0 + T_1 - 2\,t)} \text{ Quadratmeter.}$$

Genauer rechnet man mit Anwendung der oben entwickelten Gleichung für die nothwendige Grösse der Einstromheizfläche (S. 600 Gleichung II):

$$Fe = \frac{W}{k\,(T_0 - T_1)} \log \text{nat} \frac{T_0 - t}{T_1 - t} \text{ Quadratmeter.}$$

Gegen die Anwendung dieser Gleichung könnte man einwenden, dass bei der Entwickelungsweise in §. 197 die Wirkung der Wärmestrahlung des Feuerraums auf die Kesselfläche nicht berücksichtigt sei. Allein es fehlt an massgeblichen Grundlagen für genauere Rechnung und man kann durch entsprechende Annahme der Temperaturen T_0 und T_1 immerhin gut brauchbare Resultate erhalten.

Da mit Ausnahme der nöthigen Wärmemenge W alle Grössen der obigen Gleichung für gewöhnliche Dampfheizungen als wenig verschieden angenommen werden können, ist es zweckdienlich, für die Anwendung die Heizfläche einfach durch W' und eine bestimmte Zahl auszudrücken. Um diese Zahl zu finden, sei:

W die stündlich erforderliche Wärmemenge in Calorien,

k der Ueberführungscoëfficient der Wärme aus Luft durch Eisenblech in Wasser = 23 (§. 195),

T_0 die Temperatur der Verbrennungsgase am Kessel über dem Rost = 1000° C.,

T_1 die Temperatur, mit welcher die Verbrennungsgase die Kesselfläche verlassen, = 300° C.*),

t die Temperatur des Wassers im Kessel, gleich der des Dampfes bei 1,3 Atmosphären Spannung, also 107,5° C.,

F die gesuchte Kesselheizfläche.

Demnach wird:

$$F = \frac{W}{23\,(1000 - 300)}\ log\ nat\ \frac{1000 - 107{,}5}{300 - 107{,}5}$$

$$F = \frac{W}{23\ .\ 700}\ log\ nat\ \frac{892{,}5}{192{,}5}$$

$$F = \frac{W}{16100}\ log\ vulg\ \frac{892{,}5}{192{,}5}\ .\ 2{,}302\,585,$$

wobei die Zahl 2,302 585 die Reductionszahl für die Umwandlung der natürlichen Logarithmen in gemeine oder Brigg'sche ist. Durch weitere Rechnung wird

$$F = W\ \frac{0{,}6\,661\,775\ .\ 2{,}302\,585}{16\,100}$$

$$F = W\ .\ 0{,}00\,009\,527 = \frac{W}{10\,496}$$

oder abgerundet:

$$F = \frac{W}{10\,500}\ \text{Quadratmeter.}$$

Ist z. B. durch Dampfheizung ein Saal zu erwärmen, für welchen das stündlich nothwendige Wärmequantum $W = 36\,000$ Calorien beträgt, so ergibt sich als nothwendige Kesselheizfläche:

$$F = \frac{36\,000}{10\,500} = 3{,}43\ \text{qm.}$$

Hier würde also etwa ein Walzenkessel von 3 m Länge, dessen

---

*) Die Werthe 23, 1000 und 300 nach Redtenbacher.

Heizfläche etwas mehr als die Hälfte der Kesselfläche ausmacht, einen Durchmesser von ungefähr 0,70 m haben müssen.

Die durch obige allgemeine Berechnung gefundene Formel für die Kesselheizfläche

$$F = \frac{W}{10\,500} \text{ Quadratmeter}$$

stimmt mit der Praxis gut überein. Es ist eine empirische Regel, dass bei solchen Kesseln die Dampfproduction für 1 qm pro Stunde 19 bis 20 kg beträgt. Das Gewicht des stündlich zu producirenden Dampfes werde hier unter der Voraussetzung bestimmt, dass der Dampf in Folge von Wärmeverlusten in der Leitung mit 100° C. in den Condensationsgefässen ankomme, und dass auch das Condensationswasser mit 100° C. abfliesse, also die Verdampfungswärme 536,5 Calorien für 1 kg Dampf zu rechnen sei. Die stündlich nothwendige Wärmemenge sei W, dann ist die in einer Stunde zu producirende Dampfmenge:

$$P = \frac{W}{536{,}5} \text{ Kilogramm.}$$

Setzt man mit Bezugnahme auf obige empirische Regel den Werth 19 kg, so ist die entsprechende Kesselheizfläche

$$F = \frac{P}{19} = \frac{W}{19 \,.\, 536{,}5} = \frac{W}{10\,194}$$

oder abgerundet

$$F = \frac{W}{10\,200} \text{ Quadratmeter.}$$

Setzt man dagegen unter Voraussetzung vorzüglicher Einrichtung und Bedienung den höchsten Werth 20 kg pro Quadratmeter, so wird

$$F = \frac{P}{20} = \frac{W}{20 \,.\, 536{,}5} = \frac{W}{10\,730}$$

oder abgerundet

$$F = \frac{W}{10\,700} \text{ Quadratmeter.}$$

Der vorhin genauer berechnete Werth liegt also ziemlich in der Mitte zwischen diesen beiden.

§. 249.

Berechnung des Brennmaterialverbrauchs und der Rostfläche bei der Dampfheizung.

Wie bei Dampfkesseln überhaupt, so kann man auch bei der Dampfheizung den Brennmaterialverbrauch nach der stündlich zu producirenden Dampfmenge berechnen. Ist das Güteverhältniss der Feuerungsanlage

etwa 0,6, so werden durch Verbrennung von 1 kg Steinkohlen im Mittel 7 kg Dampf erzeugt. Wenn also mit P das Gewicht des stündlich zu producirenden Dampfes bezeichnet wird und mit p das Gewicht der zu verbrennenden Steinkohlen, so ist

$$p = \frac{P}{7} \text{ Kilogramm.}$$

Dass diese Berechnung keine sehr genaue ist, geht schon daraus hervor, dass dabei die Temperatur des Speisewassers und des Dampfes nicht berücksichtigt sind; doch haben diese Verschiedenheiten gegenüber der grossen Verdampfungswärme keinen so grossen Einfluss, dass obige Annahme zu verwerfen wäre.

Da man aber die zu producirende Dampfmenge nach dem Wärmebedarf mit Berücksichtigung der verschiedenen Wärmeverluste bestimmen und desshalb vor Allem doch, wie bei jeder anderen Heizmethode, den stündlichen Wärmebedarf W berechnen muss, so bestimmt man am einfachsten auch unmittelbar hiernach den nöthigen Brennmaterialaufwand.

Soll z. B. eine Steinkohlensorte zur Verwendung kommen, deren nutzbarer Heizwerth 4000 Calorien pro Kilogramm ist, so ist das stündlich aufzuwendende Steinkohlenquantum

$$Q = \frac{W}{4000} \text{ Kilogramm.}$$

In dem früheren Beispiele von $W = 36\,000$ Calorien wäre also

$$Q = \frac{36\,000}{4000} = 9 \text{ kg Steinkohlen.}$$

Auch die nöthige Rostfläche kann man unmittelbar mit dem Wärmebedarf in Relation bringen.

Vorerst ist die totale Rostfläche F_t nach der praktischen Regel, dass man auf 1 qm Rostfläche im Mittel 50 kg Steinkohlen verbrennt (§. 20):

$$F_t = \frac{Q}{50} \text{ Quadratmeter}$$

und wenn man den obigen Werth von Q einführt:

$$F_t = \frac{W}{4000 \, . \, 50} = \frac{W}{200\,000} \text{ Quadratmeter.}$$

Die freie Rostfläche F_f, als $^1/_4$ der totalen angenommen, wird demnach

$$F_f = \frac{Q}{200} = \frac{W}{800\,000} \text{ Quadratmeter.}$$

Für obiges Beispiel wäre die totale Rostfläche

$$F_t = \frac{36\,000}{200\,000} = \frac{18}{100} = 0{,}18 \text{ Quadratmeter,}$$

also nahezu $^1/_5$ Quadratmeter, und die freie Rostfläche

$$F_f = \frac{36\,000}{800\,000} = 0{,}045 \text{ Quadratmeter.}$$

§. 250.

Dimensionen der Dampfleitungsröhren. Theorie der Dampfheizung.

Die Leitungs- oder Vertheilungsröhren, welche den Dampf aus dem Kessel zu den Condensationsapparaten führen sollen, bilden einen sehr wichtigen Bestandtheil der Dampfheizungseinrichtung; von ihnen hängt die Heizwirkung grossentheils ab. Die Weite der Leitungsröhren ist desshalb durch Rechnung zu bestimmen, wo nicht genügende praktische Anhaltspunkte von analogen guten Einrichtungen gegeben sind. Die nachfolgende Berechnungsweise bildet zugleich eine Theorie der Dampfheizung.

Für die Berechnung des nothwendigen Durchmessers einer Dampfleitungsröhre kann als bekannt vorausgesetzt werden:

1) Die Wärmemenge W, welche in der Stunde abgegeben werden soll;
2) Die Dampfspannung und Temperatur des Dampfes im Kessel und folglich bei dem Eintritt in die Dampfleitungsröhre;
3) Die Länge der Leitungsröhre.

Ziemlich richtig kann ferner die Temperatur des abzuleitenden Condensationswassers angenommen werden, in welches der Dampf verwandelt werden soll. Dagegen kann man nur mit einiger Wahrscheinlichkeit Annahmen darüber machen, welche Spannung und Dichtigkeit der Dampf an verschiedenen Stellen der Leitungsröhre und der Condensationsgefässe, also auch am Ausflussende der Leitungsröhre haben wird. In Folge dessen liefert die Rechnung nicht absolut massgebliche Resultate. Dessenungeachtet mag hier die Berechnungsweise vorgeführt werden, weil sie immerhin in manchen Fällen willkommenen Aufschluss geben kann, und weil zu hoffen ist, dass in Bezug auf die fragliche Dampfbeschaffenheit mit der Zeit bessere Grundlagen gewonnen werden, wobei die Berechnungsweise im Allgemeinen die nämliche bleiben wird.

Ist $\mathfrak{V}$ das aus bekannten Grössen, wie weiterhin gezeigt wird, zu ermittelnde Volumen des Dampfes, welcher in einer Secunde mit der Geschwindigkeit V durch einen Querschnitt der Leitungsröhre strömt, und D der gesuchte Durchmesser der Leitungsröhre, so ist:

$$\mathfrak{V} = \frac{D^2 \pi}{4} \cdot V \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1$$

Die Geschwindigkeit V ist nicht bekannt; bezeichnet V die aus gegebenen Grössen zu ermittelnde wirkliche und C die grössere theoretische Geschwindigkeit, so ist (§. 83):

$$V = C \sqrt{\frac{D}{D + K_1 L}} \quad \ldots \ldots \quad (2$$

Durch Substitution in Gleichung 1:

$$\mathfrak{V} = \frac{D^2 \pi}{4} C \sqrt{\frac{D}{D + K_1 L}}$$

Hieraus ist D zu bestimmen.

$$\frac{D^5 \pi^2}{16 \mathfrak{V}^2} = \frac{D + K_1 L}{C^2}$$

$$D = \sqrt[5]{\frac{16 \mathfrak{V}^2 (D + K_1 L)}{C^2 \pi^2}} \quad \ldots \ldots \quad (3$$

Aus dieser Gleichung des 5. Grades kann der Durchmesser D genau genug gefunden werden, indem man die erste Potenz von D in der Klammer zuerst unberücksichtigt lässt, dann mit dem so gefundenen Werthe für D die Rechnung wiederholt und in dieser Weise fortfährt, bis sich keine wesentliche Aenderung von D mehr ergibt.

In Gleichung 3 ist:

$K_1 = 0{,}024$ (Reibungscoëfficient §. 84 und §. 170),

L die bekannte Länge der Leitung,

π die Ludolf'sche Zahl 3,14,

$\mathfrak{V}$ und C sind aus bekannten oder schätzungsweise angenommenen Grössen wie folgt, zu finden.

$\mathfrak{V}$ ist das Volumen Dampf, welches in einer Secunde durch einen Querschnitt der Leitungsröhre fliessen soll. Dieses ergibt sich aus der Dampfspannung, beziehungsweise Dampfwärme und der Wärmemenge W, welche in einer Stunde zu liefern ist. Die in einer Secunde erforderliche Wärmemenge ist

$$\frac{W}{3600} \text{ Calorien,}$$

und das Gewicht der in einer Secunde zu condensirenden Dampfmenge sei p; wenn man mit $\mathfrak{D}$ die Differenz zwischen der Totalwärme des Dampfes pro kg im Kessel und der Wärme des Condensationswassers bezeichnet, so ist

$$p \cdot \mathfrak{D} = \frac{W}{3600} \text{ Calorien,}$$

$$p = \frac{W}{3600\, \mathfrak{D}} \text{ Kilogramm.}$$

Hat der Kesseldampf die Temperatur T und die Spannung N Atmosphären, so ist das Volumen (§. 56):

$$\mathfrak{V} = p \cdot \frac{8}{5} \cdot \frac{1 + a\,T}{1{,}293} \cdot \frac{1}{N}$$

$$\mathfrak{V} = \frac{W}{3600\,\mathfrak{D}}\,(1 + 0{,}003\,665\,T)\,1{,}237 \,.\, \frac{1}{N} \text{ Cubikmeter.}$$

Die Grösse $\mathfrak{D}$ ist für besondere Fälle leicht zu finden. Bei bestimmten Temperaturen des Dampfes und Condensationswassers mögen die entsprechenden Werthe sowohl für die einfache Berechnung der Differenz $\mathfrak{D}$, als auch unmittelbar für

$$\frac{8}{5}\left(\frac{1 + a\,T}{1{,}293}\right)\frac{1}{N},$$

nämlich das Volumen von 1 kg Dampf von T^0, aus folgender Tabelle entnommen werden.

Dampfdruck in Atmosphären.	Temperatur Celsius.	Flüssigkeitswärme. Calorien pro kg.	Verdampfungswärme. Calorien pro kg.	Totalwärme. Calorien pro kg.	Gewicht von 1 cbm Dampf. kg	Volumen von 1 kg Dampf. cbm
0,5	81,71	82,02	549,40	631,42	0,307	3,260
0,6	86,32	86,66	546,16	632,82	0,364	2,744
0,7	90,32	90,70	543,35	634,05	0,421	2,374
0,8	93,88	94,30	540,83	635,13	0,478	2,093
0,9	97,08	97,54	538,57	636,11	0,534	1,874
1,0	100,00	100,50	536,50	637,00	0,589	1,697
1,1	102,68	103,22	534,61	637,83	0,645	1,551
1,2	105,17	105,74	532,84	638,58	0,700	1,428
1,3	107,50	108,10	531,18	639,28	0,755	1,325
1,4	109,68	110,32	529,63	639,95	0,810	1,233
1,5	111,74	112,41	528,17	640,58	0,864	1,157
1,6	113,69	114,39	526,79	641,18	0,918	1,090
1,7	115,54	116,27	525,47	641,74	0,972	1,030
1,8	117,30	118,06	524,21	642,27	1,026	0,976
1,9	118,99	119,78	523,01	642,79	1,080	0,927
2,0	120,60	121,42	521,86	643,28	1,134	0,882
2,5	127,80	128,75	516,73	645,48	1,398	0,715
3,0	133,91	134,99	512,36	647,35	1,658	0,603
3,5	139,24	140,44	508,53	648,97	1,918	0,522
4,0	144,00	145,31	505,11	650,42	2,173	0,460
4,5	148,29	149,71	502,02	651,73	2,428	0,412
5,0	152,22	153,74	499,19	652,93	2,680	0,373

Die ferner in Gleichung 3 einzusetzende theoretische Geschwindigkeit C ist allgemein dargestellt durch die Formel

$$C = \sqrt{2 g H},$$

wobei für H die Ueberdruckhöhe der Dampfsäule einzusetzen ist. Diese ist aus dem in Atmosphären gegebenen Ueberdruck des Dampfes leicht zu finden. Für n Atmosphären Ueberdruck wäre die Wassersäulenhöhe n . 10 Meter. Die Dampfsäulenhöhe ist in dem Verhältniss höher, wie ihr Gewicht pro cbm geringer ist als das Gewicht 1000 kg von 1 cbm Wasser. Ist das Dampfgewicht pro cbm bezeichnet mit G, so ist

$$H \,.\, G = 10 \,.\, n \,.\, 1000$$

$$H = \frac{10\, n \,.\, 1000}{G} \text{ Meter,}$$

folglich die theoretische Geschwindigkeit des Dampfes

$$C = \sqrt{\frac{19{,}62 \,.\, 10 \,.\, n \,.\, 1000}{G}}$$

Das Dampfgewicht G ist wieder aus obiger Tabelle zu entnehmen, bei $n = 0{,}3$ Atmosphären Ueberdruck, also $N = 1{,}3$ Atmosphären Dampfdruck ist $G = 0{,}755$ kg.

Beispiel der Querschnittsberechnung einer Dampfleitungsröhre.

Für die Heizung und Ventilation eines Saales seien 36000 Calorien in der Stunde nothwendig. Der Dampf im Kessel habe die Spannung 1,3 Atmosphären. Die Leitungslänge bis zu den Condensationsgefässen sei 20 m.

Die Hauptgleichung ist

$$D = \sqrt[5]{\frac{16\, \mathfrak{V}^2 (D + K\, L)}{C^2 \pi^2}}$$

Das Volumen $\mathfrak{V}$ des in der Secunde dem Kessel entströmenden Dampfes mag nach der Annahme bestimmt werden, dass der Dampf am Anfange der Leitung, wie im Kessel, die Spannung 1,3 Atmosphären habe, also die Temperatur 107,5° C. und am Ende der Leitung in einen Raum ausströme, in welchem die Spannkraft des Dampfes 1 Atmosphäre, die Temperatur des Dampfes 100° C. sei und dass mit der Temperatur 100° auch das Condensationswasser abgeleitet werde. Dann ist in der Gleichung

$$\mathfrak{V} = p \,.\, \frac{8}{5} \,.\, \frac{1 + a\, T}{1{,}293} \,.\, \frac{1}{N}$$

das Gewicht des in der Secunde nöthigen Dampfes:

$$p = \frac{W}{3600\,\mathfrak{D}} = \frac{36\,000}{3600\,\mathfrak{D}} = \frac{10}{\mathfrak{D}} \text{ Kilogramm,}$$

wobei sich $\mathfrak{D}$ aus der Tabelle ergibt wie folgt:

Totalwärme des Dampfes von 1,3 Atm. = 639,28 Cal.
Flüssigkeitswärme des Condensationswassers von 100° C. . . . . = 100,50 „
$\mathfrak{D}$ = 538,78 Cal.

Diese Wärmemenge gelangt zur Verwendung für den Heizzweck, während 1 kg Dampf von 107,5° C. zu Wasser von 100° C. wird.

Ferner ist der Werth für

$$\frac{8}{5} \cdot \frac{1 + aT}{1,293} \cdot \frac{1}{N},$$

nämlich das Volumen von 1 kg Dampf von 107,5° C. oder 1,3 Atm. Spannung nach der Tabelle 1,325 cbm. Mithin wird

$$\mathfrak{V} = \frac{10}{538,78} \cdot 1,325 = 0,024\,592 \text{ cbm.}$$

Die secundliche theoretische Geschwindigkeit wäre:

$$C = \sqrt{\frac{19,62 \cdot 10 \cdot 0,3 \cdot 1000}{0,755}}$$

$$C = 279,21 \text{ Meter in der Secunde.}$$

Durch Einsetzen der nun bekannten Werthe in die Hauptgleichung wird

$$D = \sqrt[5]{\frac{16 \cdot 0,024\,592^2\,(D + 0,024 \cdot 20)}{279,21^2 \cdot 3,14^2}}$$

Lässt man D in den Klammern zuerst unberücksichtigt, so wird

$$D = 0,022\,711 \text{ Meter.}$$

Dieser Werth ist etwas zu klein, weil ein Summand gleich Null gesetzt worden ist; D muss bei genauer Rechnung grösser werden. Setzt man für D in den Klammern jetzt den Näherungswerth 0,023 ein, so wird

$$D = 0,022\,925 \text{ Meter.}$$

Dieser zweite Werth ist, da er mittels Einsetzung eines offenbar zu grossen Summanden erhalten ist, etwas zu gross; man erkennt aber, dass der damit weiter zu findende nur sehr unbedeutend kleiner sein kann, dass also

$$D = 0,0229$$

oder rund

$$D = 0,023 \text{ Meter}$$

als richtig anzunehmen ist.

Es mag nun die Leitungslänge 10 mal so gross, also 200 m angenommen werden, während alles Uebrige ungeändert bleiben soll. Dann ist

$$D = \sqrt[5]{\frac{16 \cdot 0{,}024\,592^2 \, (D + 0{,}024 \cdot 200)}{279{,}21^2 \cdot 3{,}14^2}}$$

und als erster Näherungswerth

$$D = 0{,}035\,995.$$

Setzt man für D in den Klammern 0,036, so wird genauer

$$D = 0{,}036\,049,$$

so dass man 0,036 m als richtig annehmen kann.

Aus diesen Resultaten wird man folgern dürfen, dass eine Röhrenweite von ungefähr 3 Centimeter für eine Leitung von mittlerer Länge bei der Heizung eines einzigen Gebäudes oder auch eines Gebäudecomplexes von nicht sehr grosser Ausdehnung genügen könnte. Wo das Condensationswasser in den Dampfleitungsröhren selbst zurückfliesst und namentlich bei vorwiegend nahezu horizontalen Leitungen wird man die Röhrenweite zweckmässig grösser machen.

Man erkennt aus der allgemeinen Hauptgleichung für D, dass mit der Zunahme des nöthigen Wärmequantums, also des Dampfvolumens unter sonst gleichen Umständen der Durchmesser der Dampfleitung doch nicht in demselben Verhältniss zu vergrössern ist. Bei zehnfachem Volumen wird D, abgesehen von dem eingeklammerten Summanden D, welcher wenig Einfluss hat, nur im Verhältniss $\sqrt[5]{10^2}$ grösser, also nur wenig über $2\frac{1}{2}$ mal so gross, was einem ungefähr sechsmal so grossen Querschnitt entspricht. Dieses erklärt sich aus der Reibungsverminderung bei dem grösseren Querschnitte.

Die gefundenen Resultate stimmen mit der Praxis insofern überein, als man bei gewöhnlichen, nicht übermässig ausgedehnten Dampfheizungsanlagen der Dampfleitung eine lichte Weite von $2\frac{1}{2}$ bis 5 Centimeter zu geben pflegt. Man wird also auch bei aussergewöhnlichen Anlagen die obige Rechnungsweise als massgebend anwenden können.

§. 251.

Führung, Material und Umkleidung der Dampfleitungsröhren.

Die Dampfleitungsröhren können auf grosse Entfernungen hin und in beliebiger Richtung, vertical, horizontal, schräg steigend oder fallend geführt werden. Von Wichtigkeit ist aber die Vermeidung von Röhren-

biegungen in der Form eines umgekehrten Hebers in der Dampfleitung, indem durch das sich in dem tiefsten Theile der Krümmung sammelnde Condensationswasser eine Querschnittsverringerung, bei grösserer Wassermenge eine periodische oder gänzliche Absperrung des Dampfstromes entstehen würde (§. 35).

Da man aber solche Wassersäcke nicht immer vermeiden kann, so muss man an der tiefsten Stelle der Krümmung entweder das Wasser beständig abfliessen lassen oder daselbst eine Erweiterung, ein Sammelgefäss anbringen, woraus das Wasser von Zeit zu Zeit abgelassen wird.

Das Material der Vertheilungsröhren ist bei geringer Weite gezogenes Eisen, auch Eisenblech oder Kupferblech, bei grossen Röhrenweiten Gusseisen. Ist der Zweck dieser Röhren, wie gewöhnlich, ausschliesslich der, den Dampf möglichst heiss bis zu dem vom Dampfkessel am weitesten entfernten Condensationsapparate fortzuleiten, so sind sie gut vor Abkühlung zu schützen.

Hierfür sind verschiedene Mittel in Anwendung gekommen: Umhüllung mit einem besonders für diesen Zweck fabricirten leichten dicken Filz, oder mit einer plastischen Masse aus Thon, Kuhhaaren und Gips, oder mit einer Strohlage, welche mit einem Gipsgusse umgeben ist, Umwickelung mit Strohzöpfen oder Hanf, Umgebung mit Holzkästen oder cylindrischen Hüllen von Weissblech und Belassung des mit Luft gefüllten Hohlraums oder Ausfüllung desselben mit schlechten Wärmeleitern, wie Asche, Kohlenklein, Infusorienerde u. dergl.

Dass man nach dem Bekanntwerden der Schlackenwolle die Ausfüllung damit für etwas Vorzügliches hielt, ist leicht erklärlich; aber man hat schlechte Erfahrungen gemacht. In weniger als zwei Jahren waren Dampfleitungsröhren von Gusseisen sowohl wie von Schmiedeeisen in bedenklicher Weise angegriffen, und die Schlackenwolle war in eine mörtelartige oder bimssteinähnliche Masse verwandelt*). Auf die Nachtheile des Gehaltes der Schlackenwolle an Schwefelcalcium ist bereits in §. 102 hingewiesen. Darin allein wird aber die Ursache der erwähnten nachtheiligen Veränderung nicht zu finden sein. Jedenfalls ist nach solchen Erfahrungen Schlackenwolle für Umhüllung von Dampfröhren nicht zu empfehlen.

Eine Dampfröhrenverpackung, auf welche Herrn Carl Lerm in Berlin ein deutsches Reichspatent ertheilt worden ist, besteht in einer cylindrischen Hülle aus einem filzartigen Stoff, welcher auf inneren Federn aufgenäht ist. Die Federn legen sich an die Dampfröhre an,

*) „Der Rohrleger“. 1879, S. 20.

und auf diese Art ist ein Luftraum zwischen der Dampfröhre und der Filzhülle gebildet*).

Auch Asbestumkleidung wird in neuerer Zeit gerühmt; ausser der sehr geringen Wärmeleitung soll sie die Vorzüge haben, dass sie keine Risse erhält, kein Feuer fängt und überhaupt unzerstörbar ist. Zur Herstellung der Asbestumkleidung wird folgende Gebrauchsanweisung gegeben. Man rühre Asbestpulver mit Wasser zu einem nicht zu festen Teig an und bringe diesen mit einer Maurerkelle auf den Dampfkessel, die Röhren u. s. w., so lange sie noch heiss sind, und zwar in einzelnen Schichten bis zu einer Stärke von 2,5 cm. Wenn die Umhüllung dem Regen ausgesetzt ist, soll es sich empfehlen, das Pulver halb mit Wasser und halb mit Sodasilicat anzumachen**).

§. 252.

Von den Condensationsapparaten im Allgemeinen.

Als Condensationsapparate, in welchen der Dampf seine latente oder Verdampfungswärme verlieren und sich zu Wasser verdichten soll, können einfache Röhren, die Wärmeröhren, oder auch Gefässe von besonderen Formen dienen.

Für die Wahl des Materials zu Röhren und Gefässen sind die Kosten in Bezug auf die erste Anlage und Dauerhaftigkeit, die Transmissionsfähigkeit, das Gewicht in Rücksicht auf die zulässige Belastung der Gebälke und die Form mit Rücksicht auf die Benützungsweise der Localitäten in Erwägung zu ziehen.

Das am meisten geeignete Material ist unstreitig Gusseisen. Auch Kupfer hat oft Anwendung gefunden, zuweilen aus dem Grunde, weil man aus der viel grösseren Wärmeleitungsfähigkeit grösseren Heizeffect folgern zu können glaubte. Allein die durch die Wände eines mit Dampf angefüllten Gefässes durchgehende Wärmemenge ist unabhängig von der Beschaffenheit und Dicke des Materials, wenigstens für die Heizgefässe, die immer aus dünnen Wänden bestehen. Da nämlich die von der äusseren Oberfläche durch Strahlung und Luftberührung emittirte Wärmemenge sehr klein ist im Verhältniss zu derjenigen, welche von der Metallplatte vermöge ihrer Leitungsfähigkeit durchgelassen werden könnte, so folgt, dass die Temperatur der äusseren

*) Rohrleger 1879, S. 120.
**) Rohrleger 1879, S. 181.

Fläche von jener der inneren nicht wesentlich verschieden sein kann, mag nun auch die Leitungsfähigkeit und Metalldicke innerhalb der hier vorkommenden Grenzen verschieden sein. In Bezug auf Wärmeleitung sind also beispielsweise für vorliegenden Zweck Platten von 1 cm dickem Gusseisen und 1 mm dickem Kupfer als gleich gut anzusehen. In Bezug auf die Wärmeemission steht aber blankes Kupfer hinter Gusseisen zurück und geschwärztes oder angestrichenes Kupfer dem Gusseisen etwa gleich. Die Anwendung von Kupfer ist daher nur in Ausnahmefällen zu rechtfertigen.

Gusseiserne Röhren und Gefässe bieten alle gewünschten Vortheile; sie haben bei geringen Kosten grosse Dauerhaftigkeit, grosses Wärme-Emissionsvermögen und überdies bei ihrer Masse ein gewisses Reservationsvermögen für die Wärme, lassen sich auch in schönen Formen ausführen. Nur ist in einzelnen Fällen das bedeutende Gewicht gusseiserner Wärmeröhren, wenn sie nahezu horizontal zu führen sind, unerwünscht und veranlasst gewisse sonst nicht nothwendige Bauconstructionen, oder die Anwendung von Kupfer.

Tredgold macht dem Kupfer den Vorwurf, dass es einen unangenehmen und ungesunden Dunst aushauche. Manche Metalle und auch Kupfer bewirken allerdings, wenn man daraus gefertigte und nicht mehr ganz blanke Gegenstände anfasst, einen nicht angenehmen metallischen Geruch der Hände und es ist möglich, dass ein merklicher Geruch auch von grossen kupfernen Heizapparaten ausgeht. Es wird aber nicht der Fall sein, wenn solche kupferne Apparate mit Oelfarbe überzogen werden, was schon wegen der besseren Wärmeemission geschehen soll.

§. 253.

Berechnung der nothwendigen Oberfläche der Condensationsapparate.

Für einen ungefähren Ueberschlag kann man unter mittleren baulichen Verhältnissen für Wohnräume, welche täglich gut geheizt werden, bei mässiger Ventilation 4 bis 5 Quadratmeter Condensations-Heizfläche für je 100 cbm Zimmerraum rechnen.

Bei freistehenden Fabrikgebäuden rechnet man unter der Voraussetzung, dass die Säle nur auf etwa 11° C. zu erwärmen sind, und dass bei dauernder Aussenkälte Tage und Nächte hindurch fortwährend geheizt wird, für 100 cbm Raum 1,6 qm Flächen schmiedeeiserner Condensationsröhren von 10 bis 13 cm Weite.

Den speciellen Zwecken und Verhältnissen genauer entsprechende Werthe findet man durch folgende Berechnungsweise. Es sei allgemein:

f die gesuchte Grösse der nöthigen Dampfheizfläche in Quadratmeter,

W die zu emittirende Wärmemenge in Calorien,

T die Temperatur des Dampfes im Condensationsapparat in Celsiusgraden,

t die Temperatur des zu heizenden Raumes in Celsiusgraden,

k der für 1° C. Temperaturunterschied geltende Wärmeüberführungscoëfficient pro Quadratmeter und Stunde in Calorien;

Dann ist, weil die Dampfheizfläche eine Nichtstromheizfläche ist:

$$f = \frac{W}{k\,(T-t)} \text{ Quadratmeter.}$$

Sind die Condensationsgefässe von Gusseisen, so beträgt der Wärmeübergang vom Dampfe durch 1 qm der Gusseisenfläche an Luft in einer Stunde für je 1° Temperaturunterschied nach §. 195

$$k = 12 \text{ Calorien.}$$

Ist die Temperatur des Dampfes in den Condensationsgefässen $T = 100°$ C. und die Temperatur des Zimmers $t = 20°$ C., so wird

$$f = \frac{W}{12\,(100-20)} = \frac{W}{960} \text{ Quadratmeter.}$$

Wäre die Temperatur des zu heizenden Raumes nur zu 15° C. anzunehmen, was bei Werkstätten, Fabriksälen u. dgl. genügen kann, so wird

$$f = \frac{W}{12\,(100-15)} = \frac{W}{1020} \text{ Quadratmeter.}$$

Man wird demnach unter günstigen Verhältnissen den runden Werth

$$f = \frac{W}{1000} \text{ Quadratmeter}$$

anwenden dürfen.

Ist wieder, wie bei dem früher gewählten Beispiele, der stündliche Wärmebedarf $W = 36\,000$ Calorien, so ergibt sich die nöthige Dampfheizfläche, etwa für einen Fabriksaal zu

$$f = \frac{36\,000}{1000} = 36 \text{ qm.}$$

Soll diese Dampfheizfläche durch einfache Gusseisenröhren von $d = 20$ cm Lichtweite gebildet werden, was wohl die grösste in der Praxis vorkommende Weite für Condensationsröhren ist, so wird die nothwendige Länge L durch die Gleichung bestimmt:

$$d\pi \,.\, L = 36 \text{ qm}$$

$$L = \frac{36}{0{,}2 \,.\, 3{,}14} = 57{,}3 \text{ m}.$$

Bei Wohnräumen, in welchen höhere Temperatur herrschen soll, rechnet man die Heiz- oder Erwärmungsflächen der Condensationsapparate zweckmässig nach der abgerundeten Formel

$$f = \frac{W}{900} \text{ Quadratmeter,}$$

wonach für den Bedarf von 36000 Calorien sich entziffert

$$f = \frac{36\,000}{900} = 40 \text{ qm}.$$

Dieses stimmt mit der praktisch bewährten Regel überein, für je 100 stündlich zu liefernde Wärmeeinheiten 0,11 qm Dampfheizfläche zu rechnen*).

Setzt man nämlich in der obigen Formel $W = 100$, so erhält man

$$f = \frac{100}{900} = \frac{1}{9} = 0{,}11 \text{ qm}.$$

Den Divisor in den zuerst berechneten Formeln von 1020 und beziehungsweise 960 auf 1000 und 900 abzurunden, rechtfertigt sich durch den Umstand, dass in Wirklichkeit nicht die ganze Erwärmungsfläche beständig in vollem Masse wirksam ist, weil die Luft nicht vollständig ausgetrieben wird und auch aus dem lufthaltigen Wasser wieder Luft mit dem Dampfe in die Röhren und Gefässe gelangt. Ferner kann durch Ansammlung von kälterem Condensationswasser zuweilen der Heizeffect geschwächt werden.

Eine praktische Regel für das Verhältniss der hier gesuchten Heizfläche zur Kesselfläche ist die, dass man für den Dampfkessel $^1/_{10}$ bis $^1/_{12}$ der Gesammtheizfläche der Condensationsgefässe als feuerberührte Fläche rechnen soll. Nach den hier und in §. 248 gefundenen Resultaten ist diese Regel begründet.

Es mag beigefügt werden, dass Redtenbacher bei Anwendung des Coëfficienten $k = 12$ die Fläche f als äussere Röhrenfläche, luftberührte Oberfläche, angenommen hat. Bei engen und verhältnissmässig dickwandigen Röhren wird es räthlich sein, die aus der Lichtweite sich unmittelbar entziffernde Fläche, also die Innenfläche als f zu nehmen. (Vergl. §. 195.) Die Rechnung wird dadurch auch einfacher und das Resultat um so zuverlässiger.

---

*) Staebe's Preisschrift über Ventilationssysteme, 1878, Anhang §. 6.

§. 254.

Berechnung der Wandstärken des Dampfkessels und der Röhren.

Um dem Ueberdrucke von ungefähr $^1/_3$ Atmosphäre zu widerstehen, würde für einen sehr kleinen Dampfkessel von Schmiedeeisenblech und namentlich für Dampfröhren von gezogenem Schmiedeeisen eine geringere Wandstärke als $2^1/_2$ mm genügen. Man kann aber diese Dicke überhaupt als die geringste für solche Zwecke in Anwendung kommende annehmen.

Die nothwendige Wandstärke ist abhängig nicht nur von der Grösse des Ueberdrucks, sondern auch von der Grösse des Durchmessers. Unter gleichen Umständen ist eine enge Röhre widerstandsfähiger als eine weite von demselben Material und der nämlichen Wandstärke.

Bei gutem Schmiedeeisen kann man die Wandstärken hinreichend genau nach der Formel bestimmen:

$$S = 2{,}5 + 1{,}2\ P D,$$

wobei D der Durchmesser in Meter, P der Ueberdruck in Atmosphären ist, die Wandstärke S aber in Millimeter zu verstehen ist.

Bei dem in §. 248 beispielsweise als zweckentsprechend gefundenen Walzenkessel von 0,70 m Durchmesser würde für 0,3 Atmosphäre Ueberdruck des Dampfes die Kesselstärke sich ergeben:

$$S = 2{,}5 + 1{,}2 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}7 = 2{,}752,$$

wofür man rund 3 mm nehmen wird.

Zur grösseren Sicherheit auf die Dauer nimmt man bei Widerstandsberechnungen den Ueberdruck weit höher an als er für den Betrieb vorausgesetzt ist, wenngleich die oben genannten Sicherheitsvorrichtungen in Anwendung kommen. In vorstehender Formel ist jedoch für P nur der normale Ueberdruck des Dampfes einzusetzen, weil die Formel für volle Sicherheit Geltung hat. Immerhin wird man das Rechnungsresultat auf das nächst höhere halbe oder ganze Millimeter abrunden, eventuell einen der vorhandenen Blechstärke entsprechenden anderen Durchmesser anwenden.

Der mit gleicher Sicherheit zulässige Durchmesser bei bestimmter Wandstärke ergibt sich aus obiger Gleichung als:

$$D = \frac{S - 2{,}5}{1{,}2 \cdot P}$$

Für die Wandstärke $S = 3$ mm dürfte im vorliegenden Falle der Kesseldurchmesser sein

$$D = \frac{3 - 2{,}5}{1{,}2 \,.\, 0{,}3} = 1{,}39 \text{ m.}$$

Folgende Tabelle enthält für Blechstärken von 3 bis 10 mm und für den Dampfdruck von 1,3 bis 6 Atmosphären, also für den inneren Ueberdruck von 0,3 bis 5 Atmosphären die grössten zulässigen Durchmesser, nach vorstehender Formel berechnet.

Tabelle über die Wandstärken und Durchmesser schmiedeeiserner Dampfkessel und Röhren mit innerem Druck.

Wandstärke S Millimeter	Dampfüberdruck P in Atmosphären						
	0,3	0,5	1	2	3	4	5
	Grösster zulässiger Durchmesser in Meter						
3	1,39	0,83	0,42	0,21	0,14	0,10	0,08
4	4,16	2,50	1,25	0,62	0,42	0,31	0,25
5	—	—	2,08	1,04	0,69	0,52	0,42
6	—	—	2,92	1,46	0,97	0,73	0,58
7	—	—	—	1,87	1,25	0,94	0,75
8	—	—	—	2,29	1,53	1,15	0,92
9	—	—	—	—	1,80	1,35	1,08
10	—	—	—	—	2,08	1,56	1,25

Für die Bestimmung der Wandstärke gusseiserner Röhren kann man nach „Weisbachs Ingenieur" mit Beibehaltung der obigen Bezeichnungen die Formel anwenden:

$$S = 10 + 5\, P D,$$

wobei wieder P den Ueberdruck in Atmosphären, D den Röhrendurchmesser in Meter und S die Wandstärke in Millimeter bedeutet. Danach ist folgende Tabelle berechnet, welcher einige Werthe für kupferne Dampfleitungsröhren, ebenfalls nach „Weisbachs Ingenieur" beigefügt werden.

Tabelle über die Wandstärken und Durchmesser gusseisener und kupferer Dampfröhren mit innerem Druck.

Wandstärke S Millimeter.	Dampfüberdruck in Atmophären.				
	1	2	3	4	5
	Grösster zulässiger Durchmesser in Meter.				
	Gusseiserne Dampfleitungsröhren				
10	0,25	0,13	0,08	0,06	0,05
15	1,25	0,62	0,41	0,31	0,25
20	2,25	1,12	0,74	0,55	0,44
25	3,25	1,61	1,07	0,80	0,64
	Kupferne Dampfleitungsröhren.				
2	0,27	0,14	0,09	0,07	0,06
3	—	0,48	0,32	0,23	0,16
4	—	—	—	0,40	0,32

§. 255.

Verbindungsweisen der Dampfleitungs- und Condensationsröhren.

Die einzelnen Röhren werden, wenn sie von Gusseisen sind, am besten durch Flanschen und Schraubenbolzen verbunden. Bei Röhren von 20 cm Lichtweite werden 6 bis 8 Schraubenbolzen angewendet.

Weniger zweckmässig ist es, das eine Röhrenende mit einer Erweiterung, einem festen Muff, zu versehen, worin das Ende der nächsten Röhre mit Kitt gedichtet wird.

Zwischen die Flanschen legt man zusammendrückbare Scheiben oder Drähte. Abgedrehte Flanschen mit einem dazwischen gelegten ca. 2 mm dicken Ring von Kupferdraht bilden ohne Kitt nach gleichmässigem festen Zusammenschrauben eine sehr einfache, dichte, leicht lösbare und reinliche Verbindung.

Zweckmässig sind auch Bleischeiben von ungefähr 4 mm Dicke, welche beiderseits mit concentrischen Furchen versehen sind, in welche man einen aus Bleiweiss, Leinöl und Mennige bereiteten Kitt einstreicht. Dieser rothe Kitt erhärtet schnell und haftet fest am Metall. Die

Anwendung einer grösseren Menge des rothen Kitts auf Scheiben von Leinwand oder Pappe veranlasst auf längere Zeit die Verbreitung eines unangenehmen Geruches.

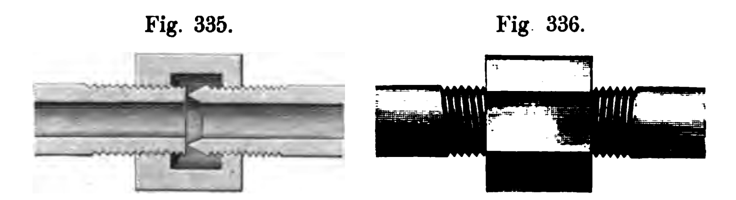
Bei sehr gut abgedrehten Flanschen genügt eine Scheibe von etwas dickem Papier, die vorher in eine Kochsalzlösung gelegt war. Durch das bald eintretende Rosten des Eisens wird die Fuge dicht und die Verbindung sehr fest.

Scheiben von Gummi, vulkanisirtem Kautschuk, sind ebenfalls mit gutem Erfolg in Anwendung gekommen; doch wird dieses Material von Asbest übertroffen. Scheiben von Asbest-Pappe sind dauerhafter und billiger als Gummischeiben. Asbest kostet dem Gewichte nach zwar mehr als Gummi; da aber die Scheiben von Asbest-Pappe nur den dritten Theil der Gummischeiben von gleicher Dicke wiegen, und da überdies die Asbestscheiben etwas dünner in Anwendung kommen dürfen, so stellt sich der Preis zu Gunsten der Asbest-Pappe.*)

Gezogene Röhren von Schmiedeeisen, die namentlich da anzuwenden sind, wo die Leitung einem starken Druck widerstehen muss, verbindet man in der Weise, dass man das eine Röhrenende in der Wanddicke mit einer ebenen Fläche bildet, das andere zuschärft und die Endstücke mit entgegengesetzten Schraubenwindungen versieht, über welche eine entsprechende Schraubenmutter gebracht wird. (Fig. 335 und 336.)

Durch Umdrehung dieser können die beiden Röhrenenden so fest

Fig. 335. Fig. 336.



an einander gepresst werden, dass die Zuschärfung sich etwas in das ebene Ende einschneidet und einen dichten Schluss bildet.

Kupferne Röhren werden gewöhnlich durch Löthung verbunden und zwar mittels Hartloth, weil Zinnloth in Folge der ungleichen Ausdehnung der Metalle keine Sicherheit für dauernde Dichtigkeit bieten würde.

Kleine Verbindungsröhren an den Condensationsgefässen u. dgl. sind in der Regel Flanschenröhren. Bei solchen von Kupferblech

*) „Der Rohrleger“ 1879, S. 181.

sind die Flanschen ebenfalls von Kupferblech, werden aber, weil sie sehr dünn sind, mit hintergelegten freien Ringscheiben von Gusseisen oder Schmiedeeisen verschraubt. Auch sind an Röhren von Kupferblech die Flanschen von Eisen und durch Hartloth befestigt.

Sehr enge Röhren von reichlicher Wandstärke verbindet man durch übergreifende Schraubenmuttern, welche als Hülsen über den Röhrenfugen zu deren Dichtung dienen.

§. 256.

Compensatoren für die Längenveränderungen bei Dampfröhren.

Die Röhren einer Dampfheizungseinrichtung sind Temperaturwechseln von mehr als 100° C. ausgesetzt, erleiden folglich Längenveränderungen. Nach §. 40 ist der Ausdehnungscoëfficient des Gusseisens für 1° C. Temperaturunterschied 0,000010 bis 0,000011 und der des Schmiedeeisens 0,000011 bis 0,000015. Eine Leitung von 10 m Länge bei 0° würde sich also bei 100° um 0,010 bis 0,015 m und eine Leitung von 100 Meter Länge um 0,10 bis 0,15 Meter verlängern.

Lange Röhrenleitungen würden in Folge dessen bei starrer Befestigung entweder Schaden leiden, oder Schaden verursachen, gewisse Gebäudetheile beschädigen. Sie müssen desshalb an einzelnen Stellen in nicht zu grossen Abständen von einander bewegliche Theile haben.

Eine derartige Compensationsvorrichtung ist in Fig. 337 dargestellt. Sie besteht aus zwei engen kupfernen Röhren, welche nach Péclet*) so gebogen sein sollen, dass die Länge 4- bis 5mal so gross ist als die kürzeste Entfernung ihrer Enden. Die obere Röhre dient zur Fortleitung des Dampfes, die untere zur Ueberführung des Condensationswassers aus dem einen Theile der Röhrenleitung in den anderen.

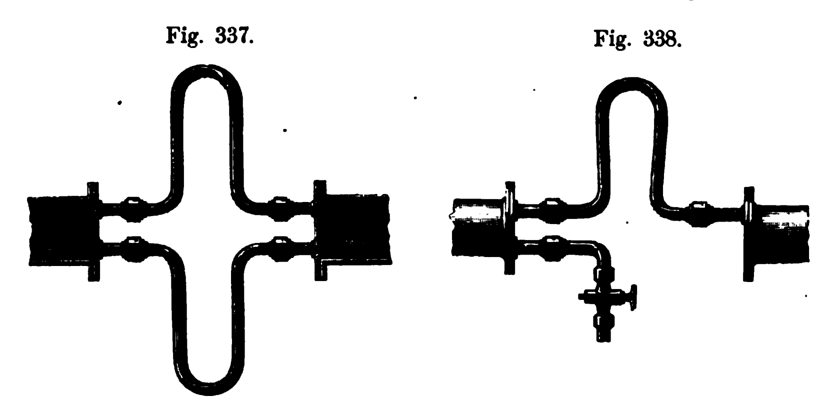
Mitunter ist es zweckdienlicher die beiden Theile der Röhrenleitung nur durch die obere Dampfröhre zu verbinden und das Condensationswasser aus dem einen Theile am tiefsten Röhrenende durch eine besondere enge Röhre abzuleiten (Fig. 338).

Es liegt die Frage nahe, ob man für solche Zwecke nicht anstatt der theuren Kupferröhren billige Bleiröhren verwenden könnte. Bleiröhren lassen sich zwar für solche einfache Wasserableitungsröhren, nicht

*) Péclet, Traité de la chaleur, 1878. Tome II. p. 541. Die Figuren 335 bis 350 sind dem Péclet'schen Originalwerke entnommen.

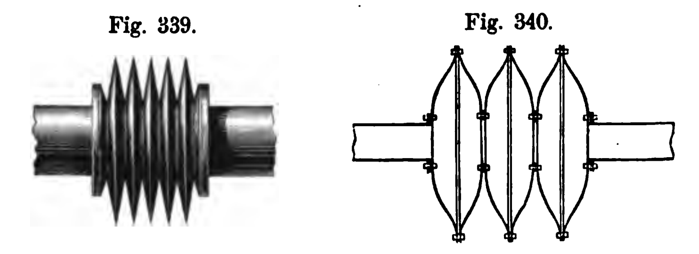
aber für Compensatoren verwenden. Es hat sich ergeben, dass Blei in Folge der sich oft wiederholenden kleinen Bewegungen rissig wird.

Fig. 337. Fig. 338.



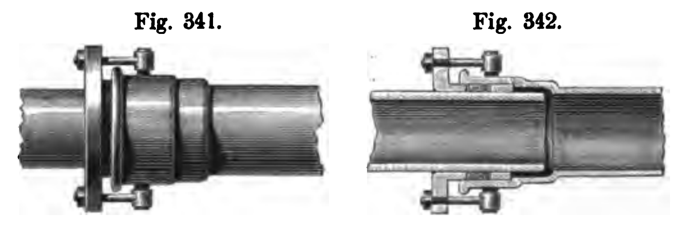
Durch Zusammensetzung conischer oder tellerförmig getriebener Scheiben von dünnem Kupferblech zu linsenförmigen Hohlkörpern werden Compensatoren angefertigt, welche sehr biegsam sind und grosse Längenveränderung zulassen (Fig. 339 und 340). Wo Com-

Fig. 339. Fig. 340.



pensationsvorrichtungen nothwendig sind, aber die erwähnten oder ähnliche nicht angewendet werden können, ist eine geringe Bewegung der Röhren durch die sonst weniger praktische Muffenverbindung zu

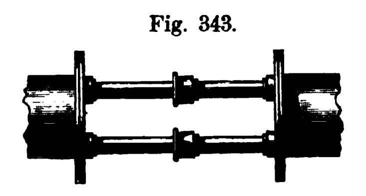
Fig. 341. Fig. 342.



ermöglichen (Fig. 341 und 342). Der Muff ist als Stopfbüchse eingerichtet und es bewegt sich das dünne Röhrenende in dem weiteren

Theile der anderen Röhre leicht und dicht zwischen einer Umwickelung von Hanfzöpfen, welche mit Talg getränkt sind. Dieser Compensator ist nach Péclet bei den Heizapparaten der Pariser Börse angewendet worden und zwar bei sehr weiten gusseisernen Röhren; er wirkt befriedigend, wenn nicht versäumt wird, die Stopfung zuweilen neu zu befetten. Vernachlässigte Compensatoren dieser Art dagegen verloren die Beweglichkeit und die Röhren zerbrachen an den befestigten Enden. Um diesen Missstand zu vermeiden, hat man an Stelle des grossen Muffencompensators von Gusseisen zwei kleine derartige Compensatoren von Kupferblech in zwei Röhren über einander angebracht (Fig. 343). Durch die obere der engen Röhren ist die Communication des Dampfes vermittelt, durch die untere die des Condensationswassers.

Fig. 343.



Compensatoren zwischen verticalen und horizontalen Röhren können in der Weise hergestellt werden, dass man von der verticalen Leitung eine enge kupferne Röhre ausgehen lässt, welche sich auf eine gewisse Höhe erhebt, dann wieder herabgebogen ist, um sich mit der horizontalen Röhre zu verbinden. Dieser Compensator kann je nach den Localverhältnissen symmetrisch oder unsymmetrisch sein. Soll nach Massgabe der Gesammteinrichtung das Condensationswasser aus den Wärmeröhren dem Dampf entgegen dem Kessel zugeführt werden, so ist auch hier eine zweite untere Compensationsröhre anzubringen.

Nicht immer sind bei Dampfheizungsanlagen Compensationsvorrichtungen durchaus nöthig. Oft ist es zulässig, dass ein Theil der horizontalen Leitung durch die Verlängerung der verticalen ein wenig gehoben wird, und überhaupt kann bei Dampfheizungen mit geringer Leitungslänge auf genügende Elasticität des Metalls gerechnet werden. Die specielle Berechnung der möglichen Längenzunahme nach Massgabe des Ausdehnungscoëfficienten wird auf Grund praktischer Erfahrungen beurtheilen lassen, ob Beschädigungen zu befürchten sind, also Compensationsvorrichtungen angewendet werden müssen.

§. 257.

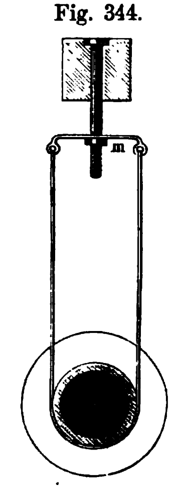
Verschiedene Einrichtungen der Condensationsapparate.

Die einfachsten und in vielen Fällen zweckmässigsten Condensationsapparate bestehen aus cylindrischen Röhren von Gusseisen, deren Durchmesser gewöhnlich von 0,07 bis 0,20 m variiren. Die grossen

Röhren von 0,20 m Weite haben nach Péclet eine Länge von 2 bis 2,50 m und eine Wanddicke von 0,02 m. Diese Wanddicke möchte unnöthig gross scheinen, da nach der zweiten Tabelle in §. 254 bei solcher Wanddicke ein Durchmesser von 0,44 m zulässig wäre, wenn der Dampfüberdruck sogar auf 5 Atmosphären steigen würde.

Allein die Wärmeemission wird durch diese Wanddicke nicht wesentlich vermindert und das damit erzielte Reservationsvermögen für die Wärme ist in den meisten Fällen erwünscht. Ohne Zweifel darf man diese Dicke für geringen Ueberdruck des Dampfes so weit vermindern, als es die Möglichkeit eines zuverlässig guten und gleichmässigen Gusses zulässt, wo die Verminderung der Kosten und des Gewichts wichtiger ist als das Reservationsvermögen.

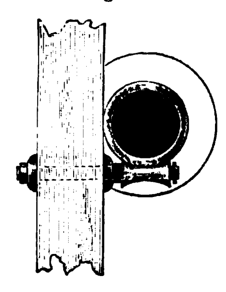
Fig. 344.



Bei Fabriksälen ist es üblich, solche Wärmeröhren entweder mittels einfacher oder in ihrer Länge regulirbarer Schleifen aus Drahtseilen oder Eisenbändern an der Decke aufzuhängen (Fig. 344), oder auch auf gusseiserne Consolen zu legen, welche an Wänden, Pfeilern oder Säulen befestigt werden. Bei einiger Länge der Leitung lässt man die Röhren auf Rollen ruhen, welche an horizontalen Bolzen stecken, wenn nicht auf andere Weise eine kleine Bewegung der Unterlage in der Richtung der Röhren ermöglicht ist. (Fig. 345.)

Diese Anbringungsweise der Wärmeröhren in der Nähe der Decke der Fabriksäle ist in Bezug auf die Heizung keineswegs die zweckmässigste, weil den Personen die gute Erwärmung der obersten Luftschichten wenig zu Gute kommt. Die wärmste Luft entweicht grossentheils, oder sie ist abgekühlt, bevor sie durch Circulation auf den Fussboden herabgelangt, und die Wärmestrahlung von oben gegen die Köpfe der Arbeiter ist weder angenehm noch der Gesundheit zuträglich, wenn sie überhaupt bis gegen den Fussboden hin merklich wirksam ist. Dem Heizzweck weit besser entsprechend ist es, die Wärmeröhren in Vertiefungen des Fussbodens zu legen, welche mit durchbrochenen gusseisernen Platten gedeckt werden, oder sie in der Nähe des Fussbodens oberhalb desselben hinzuführen. In Kanälen legt man die Röhren auf einfache Walzen von Glas oder Gusseisen, welche auf dem Kanalboden oder auf seit-

Fig. 345.



lichen Vorsprüngen ruhen können. Solchen Einrichtungen stellen sich aber in Bezug auf die Raumbenützung und Fussbodenconstruction oft Hindernisse entgegen, welche die in erwähnter Hinsicht weniger zweckmässige Einrichtung der Deckenleitungen rechtfertigen.

Zuweilen lassen sich hohle gusseiserne Säulen, welche zum Tragen der Decke dienen, zugleich als Wärmeröhren benützen. Bei sehr hohen Gebäuden mit mehreren Säulen über einander müsste man untersuchen, ob die Gesammtausdehnung keine Nachtheile im Gefolge hat. Die Deckenconstructionen gestatten gewöhnlich eine so grosse Hebung und Senkung, wie sie durch die Ausdehnung der Säulen veranlasst werden kann.

In der durch Dampf geheizten sehr umfangreichen Wagen-Reparatur-Werkstätte zu Leinhausen bei Hannover sind solche Heizsäulen in grosser Zahl angewendet.*) Der Dampf wird zuerst in einer tief liegenden Röhrenleitung von 0,165 m äusserem Durchmesser in Heizkanälen geführt, welche mit gusseisernen Platten abgedeckt sind, steigt dann in einer Säule in die Höhe, wird oben der nächsten Säule zugeführt, darin herabgeleitet, und so mit theils hoch, theils tief liegenden Heizröhren durch die sämmtlichen Heizsäulen und dann noch durch eine lange Kanalleitung geführt. Die Heizröhren haben ein Gefälle von 1 : 250. Dieses hat man in einzelnen Absätzen für Längen von je 25 m angewendet, um zu tiefe Heizkanäle zu vermeiden. An dem tiefsten Punkte einer jeden solchen fallenden Leitungsstrecke befindet sich zur Vermeidung schädlicher Spannungen ein Compensationsstoss, indem die gekrümmte Verbindungsröhre der tiefsten und höchsten Enden an den Absätzen aus Kupfer besteht. Die Ableitung des Condensationswassers findet daselbst mittels Gasröhren statt, welche heberförmig gebogen sind, um durch Wasserschluss das Entweichen von Dampf zu verhindern. Diese engen Röhren stehen mit Thonröhren von 5 cm Durchmesser in Verbindung, welche das Wasser in Kanäle wegleiten. Die hoch liegenden Heizröhren zur Verbindung der Säulen sind aus Schmiedeeisen hergestellt, und durch schmiedeeiserne Tragbänder an dem Dachwerk befestigt. Zur Verhütung schädlicher Spannungen in den Heizröhren zwischen den Säulen sind für die Verbindungen von Säulen und Röhren verschiebliche Stösse mit Stopfbüchsenconstruction in Anwendung gebracht. In den Kanälen liegen die Heizröhren auf gusseisernen Rollen.

---

*) Schwering, Zeitschr. des Arch.- u. Ing.-Vereins zu Hannover, 1879. S. 34.

Um von diesem Beispiele einer Dampfheizung wieder auf die allgemeine Besprechung zurückzukommen, ist zunächst zu bemerken, dass Säulen als Dampfheizungsgefässe wie verticale Röhren die Wärme um so weniger günstig emittiren, je höher sie sind, sowohl wegen der Zwecklosigkeit der Heizung der oberen Schichten, als auch weil die an den warmen Verticalflächen emporströmende und überhaupt die obere wärmere Luft wenig Wärme mehr aufnimmt. Aus diesen Gründen wäre es zweckdienlicher, zwei verticale Röhren auf halbe Zimmerhöhe emporzuführen, als eine Röhre auf die ganze Höhe. Wenn aber eine Verticalleitung der Wärmeröhren durch ein Stockwerk hindurchgeht, empfiehlt es sich, in der unteren Zimmerhälfte die eine Röhre in zwei zu verzweigen.

Wo es auf Schönheit ankommt, sind Heizgefässe in der Form von Vasen u. dgl. am Platze; sehr geeignet sind im Allgemeinen nach oben sich erweiternde Gefässformen. Auch können solche Gefässe mit Kieselsteinen gefüllt werden, wodurch man Nachhaltigkeit der Wärme erzielt.

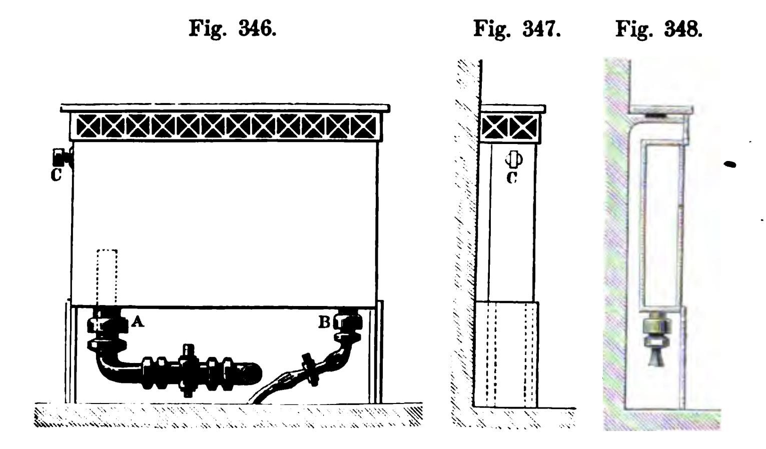
In Wohnzimmern umkleidet man ausserdem aus Schönheitsrücksichten einfache Condensationsgefässe mit durchbrochenen Mänteln in der Form von Schränken, Säulen, Oefen u. dgl. Die verdeckten Condensationsgefässe können parallelepipedische Gestalt haben oder aus geraden oder gewundenen Röhren oder aus sogenannten Dampfregistern bestehen. Für die Vergrösserung der Heizfläche und zugleich der die Wärme reservirenden Masse eignen sich auch Rippenröhren und andere Rippengefässe. Die Rippen sind immer so anzubringen, dass die aufsteigende Luft nicht zwischen ihnen aufgefangen und im Abströmen gehemmt wird, also in verticaler Richtung; bei verticalen Röhren u. dgl. als Langrippen, bei horizontalen Röhren als umlaufende Rippen. Langrippen bei horizontalen Röhren würden viel weniger nützlich sein.

Ein mehrfach zur Anwendung gelangter Dampfheizungsofen von Grouvelle ist in Fig. 346, 347, 348 dargestellt. Er ist ein von allen Seiten geschlossener gusseiserner Kasten. In diesen gelangt der Dampf durch die Röhre A, und das Condensationswasser fliesst durch die Röhre B aus. Der Bläser, das Luftventil, ist nur eine kleine Schraube bei C. Die äussere Luft tritt hinten in den Ofen (durch eine in der Zeichnung nicht ersichtliche Oeffnung) und gelangt durch ein an dem oberen Theile des Ofens angebrachtes Gitter in das Zimmer.

Dampfheizungsöfen mit gewundenen Röhren sind in den Fig. 349 und 350 dargestellt, und zwar als einfache Mantelöfen, welche

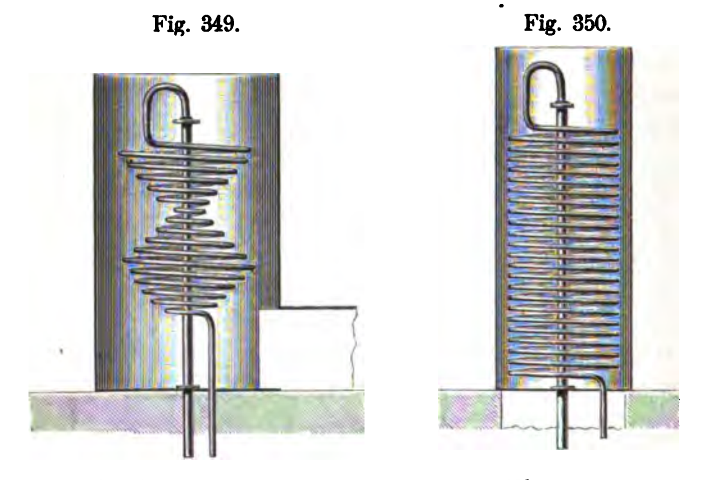
unten durch Kanäle mit der äusseren Luft in Verbindung stehen. Nach Péclet soll die Länge einer solchen Röhre, welche aus Kupfer oder

Fig. 346. Fig. 347. Fig. 348.



Schmiedeeisen bestehen kann, bei 3 cm Durchmesser nicht über 20 oder 30 m sein. Es ist einleuchtend, dass damit eine schon bedeutende und gut wirksame Heizfläche gegeben ist.

Fig. 349. Fig. 350.



Dampfheizungsregister werden zum Theil so zierlich ausgeführt, dass sie auch in besseren Räumen ohne Ummantelung belassen werden können, wenn man diese Ummantelung nicht zum Zwecke der besseren Luftcirculation oder Ventilation vorziehen will. Der Gebrauch des Wortes Register bei Heizungsapparaten in der hier geltenden Bedeutung ist ziemlich neu. Register bedeutet unter Anderem auch

eine Reihenfolge oder Gesammtheit gleichartiger Dinge, und danach ist es gerechtfertigt, eine Reihenfolge von Röhren oder Rippen bei Condensationsgefässen Dampfregister und speciell Röhrenregister und Rippenregister zu nennen. Einige Darstellungen solcher Register entnehme ich einem Berichte über die Ausstellung in Philadelphia 1876.*)

Die in Amerika zu Dampfleitungen in Gebäuden gewöhnlich verwendeten Röhren sind von Schmiedeeisen gezogen und haben im Lichten 23 bis 40 mm Durchmesser. Verzweigungs- und Uebergangsstücke sind von Gusseisen und haben conische Gewinde. Die schmiedeeisernen Röhren werden nirgends gebogen, jede Krümmung wird durch gusseiserne Knie- und Kehrstücke, wie auch bei den folgenden Figuren ersichtlich, hergestellt.

Fig. 351.

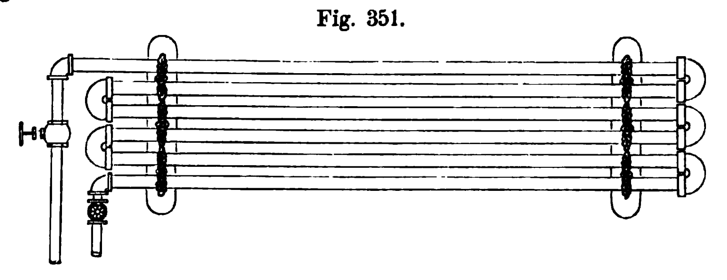


Fig. 351 zeigt ein Register mit Return-Bends oder Rückwärts-Krümmen, Kehrstücken; ähnlich sind auch Register mit verticalen Röhren gebildet.

Fig. 352 ist ein Register mit Manifolds oder Vielfachstücken. Beide werden aus Stücken von 6 Meter langen gezogenen, 25 mm weiten Schmiedeeisenröhren, die eine Wandstärke von $4^1/_2$ mm haben, mit Anwendung gusseiserner Krümmungs- und Verbindungsstücke zusammengesetzt.

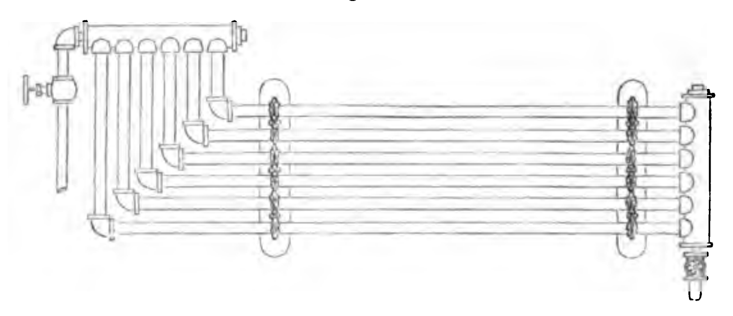
Solche Register werden an den Wänden angebracht und heissen desshalb auch Wandregister. Nach Umständen werden einige dieser Wandregister parallel neben einander gestellt und in der darauf senkrechten Richtung mit einander verbunden, wodurch die sogenannten Box-Coils, Kastenregister, entstehen.

Eine zweite Kategorie von Röhrenregistern, auch Säulenregister genannt (Fig. 353), hat einen durch eine horizontale Zwischenplatte in zwei Theile getrennten, aus Gusseisen hergestellten Sockelraum. In den

*) Strohmayer, Bericht über die Ausstellung in Philadelphia 1876. XVII. Heft. Wien 1877.

oberen Sockeltheil ist eine Anzahl schmiedeeiserner, 25 mm weiter, an ihren oberen Enden geschlossener Röhren angeschraubt. In diesen sind dünne, nur 6 mm weite Dampfvertheilungsröhren emporgeführt, welche

Fig. 352.



mit dem unteren Sockelraum communiciren. Die Dampfzuleitung geschieht nach diesem unteren Sockelraum, von da aus geht der Dampf durch die engen Röhrchen empor, ausserhalb derselben in den weiteren Röhren herab und gelangt von dem oberen Sockelraum aus in eine Abflussröhre.

Fig. 353.



Eine dritte Kategorie von Dampfregistern besteht aus einfachen gusseisernen Parallelepipeden, die neben einander gesetzt oben einerseits mit einer horizontalen Röhre behufs Dampfzuleitung und unten andererseits mit einer Röhre behufs Abführung des Dampfes oder Condensationswassers verbunden sind. Zum Zwecke der Vergrösserung der Heizfläche sind diese gusseisernen Kästen aussen mit angegossenen Rippen versehen, es sind also Rippenregister. Sie werden in Amerika hauptsächlich bei der Heizung von Parterre-Räumen angewendet, nämlich an die Kellerdeckenträme aufgehängt. Die durch die Kellerfenster zugeführte frische Luft erwärmt sich an diesen Registern und strömt durch Gitteröffnungen im Zimmerfussboden empor.

Rippenregister werden in anderen verschiedenen Weisen auch in Deutschland seit einiger Zeit in Anwendung gebracht. Dazu gehören die sogenannten Gurney'schen Batterien, horizontale Cylinderröhren, auf welchen Rippen als weitvorstehende Platten in grosser Anzahl mit entsprechenden Zwischenräumen neben einander gereiht sind.

Vorzüglich dürfte sich Wellblech mit Cement- und Oelfarbe-An-

strich u. dgl. für Dampfheizungsgefässe eignen; ohne Zweifel wird die nächste Zukunft auch Wellblechregister zu Tage fördern.

§. 258.

Regelung der Wärmeabgabe bei Dampföfen.

Hierüber hat Professor Hermann Fischer in Hannover eine ausführliche Abhandlung*) veröffentlicht, worauf hiermit verwiesen werden mag. Das hier Folgende ist ein kurzer Auszug daraus.

Die Regelung der Wärmeabgabe eines Dampfofens kann durch folgende Mittel bewirkt werden:

1) Der Dampfzutritt wird zeitweise ganz frei gelassen, zeitweise vollständig gesperrt. Dieses Verfahren ist ein sehr rohes und sollte nur angewendet werden für die langgestreckten Dampfröhren der Fabrikheizungen, welchen der Dampf von einem, höchstens von einigen Punkten aus zugeführt wird, und ausserdem in denjenigen Fällen, in denen aus anderen Gründen Dampfwasseröfen sich empfehlen.

2) Der Dampfzutritt wird vermindert. Dieses wirkt rasch, empfiehlt sich aber wegen der nothwendigen sorgfältigen Bedienung, sowie wegen anderer Uebelstände nur für einzelne Fälle.

3) Der Ablauf des zu Wasser verdichteten Dampfes wird beschränkt. Hiervon gilt Gleiches wie von dem zweiten Verfahren, jedoch ist zu bemerken, dass der Käuffer'sche Dampfofen für viele Fälle recht brauchbar sein wird.

4) Der Dampfofen wird in einer Heizkammer, beziehungsweise in eine wenig Wärme leitende Ummantelung gestellt und die Luftbewegung längs der Heizfläche nach Bedarf erschwert. Dieses Verfahren verdient den vorgenannten gegenüber unbedingten Vorzug, sofern man eine grössere Zahl von Räumen zu erwärmen und keinen Werth auf Wärmeaufspeicherung zu legen hat.

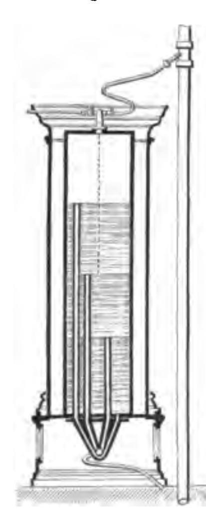
5) Der Dampfofen wird wie bei 4 in eine Ummantelung gestellt und die Luft so geleitet, dass sie nur einen bestimmten Theil der Heizfläche berührt. In den gleichen Fällen wie bei 4 kann dieses Mittel als das vorige überwiegend bezeichnet werden, da es, ausser den jenem eigenen Vortheilen noch die weiteren in sich trägt, dass die Luft niemals über die nöthige Temperatur hinaus erwärmt wird und die Regelung der Wärme sofort wirkt.

---

*) Dingler's polytechnisches Journal. 1879, Band 234, S. 161.

Der bei dem dritten Verfahren genannte Käuffer'sche Dampfofen ist ein verticaler mit Rippen versehener Ofen, welcher vier Oeffnungen für den Wasserabfluss hat (Fig. 354). Eine Oeffnung liegt am Boden des Ofeninnern; sie vermittelt die vollständige Entleerung des Ofens. Die zweite Oeffnung befindet sich am oberen Ende eines verticalen Röhrenaufsatzes im Ofen in $^1/_4$ der Ofenhöhe, so dass durch sie dasjenige Wasser abfliessen kann, welches etwa über dieser Mündung angestaut wird. Die dritte Oeffnung führt in ähnlicher Weise nur das über $^1/_2$, die vierte Oeffnung nur das über $^3/_4$ der Ofenhöhe angestaute Wasser ab. Die vier Abflussröhren stehen mit einem gemeinschaftlichen Hahn, der unterhalb des Ofens angebracht ist, in Verbindung. Die Bohrungen des Hahnstücks sind so angeordnet, dass je nach der Drehung desselben nur je eine der Oeffnungen ganz oder auch nur zum Theil zur Wasserableitung geeignet wird. Soll der Ofen möglichst viel Wärme abgeben, so stellt man den Hahn so ein, dass die Bodenöffnung das Condensationswasser abführt. Bedarf man weniger Wärme, so wird der Wasserabfluss nur von einer der höher gelegenen Mündungen bewerkstelligt. Alsdann sammelt sich das Wasser im Ofen bis zu dieser Höhe, schliesst den Dampf von der Heizfläche ab, welche es bedeckt, und vermindert hierdurch die Wärmeabgabe. Der hier dargestellte Ofen ist also ein regulirbarer Dampfofen mit veränderlicher Heizfläche.

Figur 354.



§. 259.

District-Dampfheizung.

In Deutschland bestehen seit 1870 bereits einige Central-Dampfheizungen für ausgedehnte Gebäude-Complexe. Die Ausführung von Centralheizungen jedoch in dem Umfange, wie sie seit 1877 in Amerika entstanden sind, ist immerhin als ein grossartiges Ereigniss zu bezeichnen.*)

*) Ausführliche Mittheilungen hierüber enthält „der Rohrleger“ in den Jahrgängen 1878 und 1879.

Im Frühjahre 1877 waren die Pläne des Heizungs-Ingenieurs Birdsill Holly zur Reife gediehen und alsbald war auch die Bildung einer Actien-Gesellschaft mit einem Kapital von 25 000 Dollars unter dem Namen „Holly Steam Combination Company" erfolgt, um das System der Central-Dampfheizung in grossem Umfange auszuführen. In Lockport, einer Stadt im Staate New-York, wurden auf einer Strecke von drei englischen Meilen*) die Heizungsröhren gelegt, im September und October die Heizgefässe in den Wohnungen angebracht und mit dem Röhrensystem verbunden; im Winter 1877/78 war das neue District-Dampfheizungs-System in vollem Betrieb und Gang.

Zum Zwecke von sachdienlichen Vorerhebungen war zuerst ein horizontaler Dampfkessel von 1 ½ Meter Durchmesser und 5 Meter Länge mit einer geschmiedeten Röhrenleitung von 76 mm Weite verbunden, welche ungefähr 90 cm unter den Boden gelegt und ½ englische Meile (ca. 800 Meter) lang war. In Zwischenräumen von 30 bis 60 Meter wurden als Hausleitungsröhren Abzweigungen an die Hauptröhre angelegt, und an diesen Stellen, sowie am Ende der Leitung wurden Untersuchungen angestellt, um über den Betrag der Condensation, den Dampfdruck und die Dimensionen der Röhren zu massgeblichen Schlüssen zu gelangen. Die Resultate dieser Untersuchungen waren so zufriedenstellend, dass man die Leitung auf einen weit grösseren Umfang ausdehnte und noch zwei Dampfkessel montirte, welche aber nicht gleichzeitig benützt werden mussten, sondern zum abwechselnden Gebrauche und als Vorsorge für etwaige Unfälle dienen sollten.

Nach kurzer Zeit waren durch diese Central-Dampfheizung in Lockport 200 Häuser geheizt. Der Brennstoffverbrauch im Winter war für 24 Stunden 4 Tonnen**) Anthracit zum Preise von ungefähr 72 Mark.

Die Dampfleitungsröhren wurden auf Kosten der Gesellschaft bis an die Häuser gelegt, die Einrichtungskosten in den Häusern trugen die Hauseigenthümer; diese Kosten betrugen für kleine Häuser mit acht Zimmern ungefähr 600 Mark, für die grössten Wohnhäuser 2100 Mark. Die Betriebskosten sollen geringer sein als bei gewöhnlicher Ofenheizung. Die 5000 Meter lange Dampfleitung besteht in den Strassen aus nahezu 1 Meter tief gelegten eisernen Röhren von 100 mm, 80 mm, 65 mm und 50 mm Durchmesser, in den Häusern aus

---

*) 1 englische Meile = 1609,315 Meter = 1,609 315 Kilometer.

**) 1 englische Tonne = 20 Ctr. englisch = 1016,0476 kg; im metrischen System ist 1 Tonne = 1000 kg.

Röhren von 40 mm Durchmesser. In Abständen von etwa 30 Meter sind Compensationsvorrichtungen angebracht, welche eine Verlängerung der Röhrenstrecke um 46 mm zulassen. Die Strassenleitung ist gegen Abkühlung gut verwahrt; jede Röhre ist mit Asbestpapier, darauf mit Filz und noch mit Manilla-Papier umwickelt. Die umwickelten Röhren liegen in Holzröhren, deren Bohrung 10 mm freien Raum am Umfange lässt. Die Holzröhren liegen auf Sickerkanälen und wurden mit getheertem Dachfilz überdeckt, bevor die Gräben wieder ausgefüllt wurden.

Die Hausleitungen haben kleine Dampfmesser, durch welche der Dampfverbrauch angezeigt und auf einem Papierstreifen genau verzeichnet wird. Die in den Kesseln hervorgebrachte Dampfspannung von $2\,{}^1\!/_2$ Atmosphären Ueberdruck wird in den Hausleitungen gewöhnlich durch ein Ventil auf $^1\!/_3$ Atmosphäre Ueberdruck reducirt.

In 1000 Meter Entfernung vom Kesselhause sind noch Dampfmaschinen von 10 bis 14 Pferdekraft getrieben worden, und für 2000 Meter Länge der Dampfleitung war der Druckverlust nur 20 Procent, also die Dampfspannung noch 80 Procent von jener im Kessel.

Der Dampf soll für alle möglichen Zwecke der Haushaltung dienen und ausreichen. Durch directen Dampfdruck kann das Condensationswasser nach der Küche und nach anderen Räumen gefördert werden. Dieses Condensationswasser ist rein und weich; jede Familie erhält davon täglich 30 bis 60 Liter.

Nach den bisherigen Erfahrungen werden folgende Röhrenweiten als ausreichend angenommen:

für	300	m Röhrenlänge	40	mm	Weite
„	900	„ „	80	„	„
„	3000	„ „	160	„	„
„	6000	„ „	300	„	„

Ferner wird angenommen, dass für eine Anzahl von Wohnhäusern mit dem Gesammtraum von mehr als 30 000 cbm ein Dampfkessel von $1\,{}^1\!/_2$ Meter Durchmesser und 5 Meter Länge genügt und dass ein Stadttheil von 4 englischen Quadratmeilen, also über 10 Quadrat-Kilometer Grundfläche durch eine Central-Kesselanlage ohne Schwierigkeit bedient werden kann.

Gleich günstige Erfolge wie in Lockport hat man in Auburn, Buffalo, Toronto erreicht. In New-York ist einer Gesellschaft die Concession zur Verlegung unterirdischer Heizungsröhren ertheilt worden, und gegenwärtig steht eine ganze Reihe von Städten der nordamerikanischen Union und Canada's im Begriff, sich mit derartigen Dampfheizungen zu versorgen.

In Deutschland ist ein so rasches Vorgehen nicht zu erwarten; aber ohne Zweifel werden auch deutsche Städte im Laufe der nächsten Jahre District-Dampfheizungen bekommen.

Ein Entwurf zu einer deutschen District-Dampfheizung und zwar für eine Anzahl von städtischen und Staatsgebäuden in Kaiserslautern wurde bereits im August 1879 von dem Eisenwerk Kaiserslautern ausgearbeitet.*)

Die Wasserheizung.

§. 260.

Allgemeine Erklärung und Eintheilung der Wasserheizungssysteme.

Unter Wasserheizung im weitesten Sinne ist die Erwärmung von Räumen durch Gefässe zu verstehen, welche mit heissem Wasser gefüllt sind. Die Gefässe können als Wasseröfen irgendwie geformt und angebracht sein, und das Wasser darin kann auf irgend eine Weise erwärmt werden; sie können auch Röhren sein oder mit Röhren in Verbindung stehen, welche ein geschlossenes System bilden, das theilweise selbst durch Feuer erhitzt wird oder mit einem Wasserheizkessel verbunden ist.

Man kann sich als Wasserheizungsapparat eine Dampfheizungseinrichtung denken, wobei die bei Beschreibung der Dampfheizung erwähnten Röhren und Gefässe mit heissem Wasser gefüllt wären. Es ist jedoch leicht einzusehen, dass für die Ersetzung des abgekühlten Wassers durch heisses nicht jedes der oben dargestellten Dampfheizungssysteme sich eignen würde; wo aber mittels einer besonderen Rückleitung das Condensationswasser wieder dem Kessel zugeführt wird, da würde auch das abgekühlte Wasser wieder dem Kessel zufliessen.

Nur diese letztere Heizungsweise mit circulirender Strömung ist für die Wasserheizung im engeren Sinne gut geeignet. Das Wasser circulirt im System der Röhren und Gefässe auch in gleicher Weise, wie die Luft in den Kanälen und Zimmern bei einer Circulations-Luftheizung; daher ist auch die genauere Bezeich-

*) Der „Rohrleger". 1879, Nr. 18.

nung Circulations-Wasserheizung oder Wasser-Circulationsheizung passend.

Wenngleich die meisten bei der Dampfheizung beschriebenen Apparate für die Wasserheizung dienlich sein können, so sind doch die Wasserheizungseinrichtungen von jenen der Dampfheizung in mehrfacher Hinsicht so verschieden, dass eine specielle Besprechung nothwendig ist.

Nicht minder fordert die Theorie der Wasser-Circulationsheizung, obwohl jener der Circulations-Luftheizung sehr ähnlich, die Berücksichtigung einiger Besonderheiten und soll desshalb für sich besonders gegeben werden.

Die Eintheilung betreffend hat man bis vor wenigen Jahren nur zwei Arten der Wasserheizung unterschieden, und Manche behalten auch jetzt noch diese Eintheilung bei, nämlich die Warmwasserheizung, bei welcher das Wasser nicht über den gewöhnlichen Siedpunkt erhitzt wird, und die Heisswasserheizung, wobei die Wassererhitzung über 200° C. gebracht werden kann, nach ihrem Erfinder auch Perkins'sche Heizung genannt.

Gegenwärtig pflegt man die Wassercirculationsheizungen in folgender Weise einzutheilen:

1) Die Niederdruck-Wasserheizung, bei welcher die Temperatur des Wassers unter dem gewöhnlichen Siedpunkte bleiben, der Atmophärendruck nicht überschritten, ein innerer Ueberdruck nicht entstehen soll; das ist die Warmwasserheizung der älteren Eintheilung.

2) Die Mitteldruck-Wasserheizung, bei welcher die normale Erhitzung des Wassers bis gegen 130° C. bewerkstelligt werden soll, wobei der Druck bis 2½, der Ueberdruck bis 1½ Atmosphären steigt.

3) Die Hochdruck-Wasserheizung, bei welcher die Wassererhitzung auf 150 bis 200° C. bei 4 bis 14 Atmosphären Ueberdruck oder 5 bis 15 Atmosphären Spannung stattfindet; dieselbe Heizmethode also, welche auch früher als Heisswasserheizung bezeichnet worden ist.

§. 261.

Allgemeine Theorie der Wasserheizung. Ursache der Circulation.

Die Ursache der Circulation in einem Wasserheizungssystem wird in der Verschiedenheit des specifischen Gewichts der niedersinkenden

und der gehobenen, aufsteigenden Wassersäule zu suchen sein. Redtenbacher*) bezeichnet zwar diese Ansicht als unrichtig, ohne jedoch die Unrichtigkeit oder eine andere Ursache der Circulation überzeugend nachzuweisen. Er sagt:

„Die Wassermenge, dem Gewicht nach, welche in einer bestimmten Zeit, z. B. in jeder Secunde, aufsteigt, ist eben sogross als jene, welche in der gleichen Zeit niedersinkt. Die Wirkung, welche die niedersinkende Säule entwickelt, ist daher ebenso gross als jene, welche die aufsteigende Säule consumirt, bleibt also kein Ueberschuss zur Ueberwindung des grossen Reibungswiderstandes übrig. Wenn die Differenz der specifischen Gewichte der Wassersäulen die Ursache der dauernden Circulation des Wassers wäre, müsste die Geschwindigkeit der Circulation wesentlich vom Verticalabstand des höchsten Punktes der Circulation über den niedrigsten Punkt derselben abhängen, würde daher eine Circulationsheizung zur Erwärmung eines thurmartigen Raumes ganz anders anzuordnen sein, als eine Circulationsheizung zur Erwärmung eines horizontalen kanalartigen Raumes. Dies ist aber, wie die Erfahrung gezeigt hat, nicht der Fall, es ist im Gegentheil erfahrungsgemäss, dass es auf die Art der Erstreckung des zu erwärmenden Raumes gar nicht ankommt, und dass nur allein wegen der Anheizung ein gewisser Höhenunterschied nothwendig ist. Nach unserer Ansicht ist die Ursache der Circulation und der Ueberwindung des dabei vorkommenden starken Reibungswiderstandes in der Arbeit zu suchen, welche die Wärme des Ofens entwickelt, indem sie das in den Röhren enthaltene Wasser rasch ausdehnt.“

Man wird vermuthen dürfen, dass die Fälle der Erfahrung, auf welche sich Redtenbacher bezieht, nur wenige waren und nicht gut geeignet, sie zu vergleichen. Berücksichtigt man, dass schon die theoretische Geschwindigkeit der Strömung nur im Verhältniss der Quadratwurzel der Druckhöhe wächst, dass aber die wirkliche Geschwindigkeit durch die grössere Geschwindigkeit selbst, durch Anwendung engerer Röhren, durch Krümmungen und andere Unregelmässigkeiten bedeutend vermindert wird, so mag es vorgekommen sein, dass bei Vergleichung der Circulation in einem niedrigen Raume, etwa in einem Pflanzenhause, mit jener in einem grösseren Gebäude die Geschwindigkeiten trotz sehr verschiedener Druckhöhen doch wenig verschieden waren. Es lassen sich dagegen auch Fälle aus der Erfahrung beibringen, welche die andere Ansicht stützen. Und in theoretischer Hinsicht lässt sich Redtenbacher's Ausspruch, dass die eigentliche motorische Ursache der Circulation und

*) Redtenbacher, der Maschinenbau 1863. II. Band S. 427.

der Ueberwindung des Reibungswiderstandes in der von der Ofenwärme entwickelten Arbeit zu suchen sei, indem sie das Wasser in den Röhren rasch ausdehne, sehr wohl mit der Annahme vereinigen, dass die Wirkung, welche die niedersinkende Wassersäule entwickelt, ebenso gross ist als jene, welche die aufsteigende Wassersäule ohne Rücksicht auf Reibung consumirt, dass aber den Ueberschuss zur Ueberwindung des grossen Reibungswiderstandes die Arbeit der entwickelten Ofenwärme liefert, und dass, weil die Ausdehnung durch die Wärme doch immer nur einseitig für einen gewissen Theil des Wassers erfolgt, die Circulation durch die Verschiedenheit des specifischen Gewichts der aufsteigenden und niedersinkenden Wassersäule verursacht wird. Diese Verschiedenheit des specifischen Gewichts ist die nähere oder unmittelbare Ursache der Circulation, die von der Ofenwärme entwickelte Arbeit die entferntere oder mittelbare.

Bei der folgenden speciellen Theorie der Wasserheizung kann die entferntere Ursache der Circulation ausser Berücksichtigung bleiben.

§. 262.

Specielle Theorie der Wasserheizung.

I. Nothwendige Circulations-Menge.

Dass circulirendes Wasser sich als Ueberträger der Wärme zu Beheizungszwecken gut eignet, geht aus der Vergleichung der specifischen Gewichte und Wärmecapacitäten von Wasser und Luft hervor. Wird 1 kg Wasser um 40° C. abgekühlt, so verliert es 40 Wärmeeinheiten, und wenn diese Wärmemenge an Luft übergeht, so können dadurch ungefähr $4 \,.\, 40 = 160$ kg oder $160 : 1{,}3 = 123$ cbm Luft um 1° C. erwärmt werden, oder auch 10 cbm um 12,3° C. Wenn allgemein 1 kg Wasser sich von der Temperatur $t_1{}^0$ auf die Temperatur $t_0{}^0$ abkühlt, verliert es $(t_1 - t_0)$ Calorien; und wenn 1 cbm Wasser, dessen Gewicht hier ohne Rücksicht auf die mit der veränderlichen Dichte als 1000 kg angenommen werden kann, von $t_1{}^0$ auf $t_0{}^0$ abgekühlt wird, so verliert es die Wärmemenge $1000\ (t_1 - t_0)$ Calorien.

Wird das in jeder Secunde um $(t_1 - t_0)^0$ abgekühlte in Cubikmeter auszudrückende Wasservolumen mit $\mathfrak{V}$ bezeichnet und die in einer Stunde abgegebene Wärmemenge mit W, so besteht die Gleichung:

$$W = 3600 \,.\, \mathfrak{V}\ 1000\ (t_1 - t_0) \text{ Calorien} \quad . \; . \; . \quad (1$$

Es soll nun die Wärmemenge W als der stündliche Wärmebedarf gelten. Ist die Temperatur des in eine Röhrenleitung einfliessenden heissen Wassers $t_1{}^0$, und ist — was von später zu untersuchenden Bedingungen abhängt, aber hier vorausgesetzt werden mag — die Leitung so beschaffen, dass das an die Erhitzungsstelle zurückkommende kältere Wasser die Temperatur $t_0{}^0$ hat, sollen ferner auf der ganzen Leitungsstrecke stündlich W Calorien abgegeben werden, so müssen auf dieser Strecke in einer Secunde circuliren, d. h. von der Erhitzungsstelle weggehen oder durch irgend einen Röhrenquerschnitt fliessen:

$$\mathfrak{B} = \frac{W}{3600 \cdot 1000\,(t_1 - t_0)} \text{ Cubikmeter} \quad . \; . \; . \quad (2$$

II. Nothwendige Circulations-Geschwindigkeit.

Damit das nothwendige Wasservolumen $\mathfrak{B}$ in der Secunde durch einen bestimmten Röhrenquerschnitt Q fliesst, ist eine bestimmte secundliche Geschwindigkeit v nothwendig, nämlich

$$v = \frac{\mathfrak{B}}{Q} \text{ Meter,}$$

und das in der Secunde abzukühlende Wasservolumen ist also auch ausgedrückt durch

$$\mathfrak{B} = Q \cdot v \text{ Cubikmeter} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3$$

Aus den Gleichungen 2 und 3 ist

$$Q \cdot v = \frac{W}{3600 \cdot 1000\,(t_1 - t_0)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4$$

Führt man den Röhrendurchmesser D ein, so ist

$$Q = \frac{D^2 \pi}{4}$$

und alsdann die verlangte secundliche Geschwindigkeit:

$$v = \frac{4\,W}{D^2 \pi \cdot 3600 \cdot 1000\,(t_1 - t_0)} \text{ Meter} \quad . \; . \quad (5$$

Man möge sich hüten, die erfolgende — theoretische oder wirkliche — Geschwindigkeit mit dieser Formel zu suchen. Diese Geschwindigkeit ist im gegebenen Falle, wobei alle Grössen der Gleichung, ausser v, als bekannt angenommen werden, nothwendig, wenn das circulirende Wasser den stündlichen Wärmebedarf W gerade decken soll.

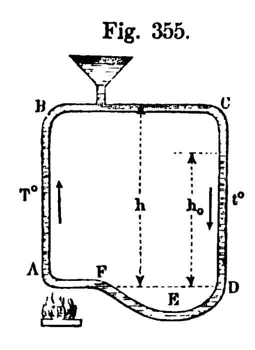
III. Mögliche Circulations-Geschwindigkeit.

Ob die in Gleichung 5 dargestellte nothwendige Geschwindigkeit v möglich ist und die Circulation nicht etwa mit zu geringer oder auch übermässig grosser Geschwindigkeit erfolgen wird, das hängt von der

Grösse der motorischen Ursache und den Bewegungswiderständen ab. Es soll nun zuerst eine allgemeine Gleichung der theoretischen Geschwindigkeit der Wassercirculation entwickelt werden; die Gleichung der wirklichen Geschwindigkeit ergibt sich dann ohne Schwierigkeit nach den früheren allgemeinen Untersuchungen über die Bewegung von Flüssigkeiten in Röhren mit Rücksicht auf die nach der speciellen Disposition der Anlage vorkommenden Bewegungswiderstände.

Die in sich selbst zurückkehrende Röhre (Fig. 355) sei mit Wasser gefüllt, welches auch noch in dem darüber angebrachten trichterförmigen Aufsatze beliebig hoch steht. Bei A werde die Röhre erhitzt; dann wird das warme Wasser in AB aufsteigen, weil es durch das damit communicirende kältere Wasser gehoben wird, und es wird sich während seiner Abkühlung weiter nach $CDEFA$ fortbewegen, also circuliren. Es werde nun angenommen, die Temperatur des Wassers in AB sei T^0, in CD in Folge von Abkühlung t^0, und in dem unteren Bogen DEF erfolge weder Abkühlung noch Erwärmung. Der Druck des Wassers im aufgesetzten Trichter ist, wie auch der Druck der Atmosphäre auf das Wasser in diesem, ohne Einfluss auf die vorliegende Untersuchung, weil dieser Druck gleichmässig nach beiden Seiten wirkt. Ebenso ist das Wasser im unteren Theile DEF nicht zu berücksichtigen, weil es von gleicher Temperatur, also für sich im Gleichgewicht angenommen ist.

Fig. 355.



Die theoretische Geschwindigkeit des aufsteigenden warmen Wassers werde mit C_1 bezeichnet, die des sinkenden kälteren Wassers mit C_0. Ist die Röhrenweite in AB gleich jener in CD, so sind die Circulationsgeschwindigkeiten in beiden Röhren nicht gleich.

Im Beharrungszustande der Circulation muss in einer Secunde die nämliche Masse und Gewichtsmenge Wassers einerseits sinken, andererseits gehoben werden; da aber die gleiche Gewichtsmenge des kälteren Wassers ein geringeres Volumen hat, so muss die Geschwindigkeit desselben bei gleichen Querschnitten auch geringer sein.

Sollen in beiden Wassersäulen die Geschwindigkeiten genau so gross sein, als sie bei dem vorhandenen Ueberdrucke sein können, so müssen die Röhrenquerschnitte in einem bestimmten Verhältnisse stehen, welches sich in gleicher Weise ermitteln lässt, wie es oben bei ähnlichen Untersuchungen für Luftleitungen geschehen ist. Es werde vorausgesetzt,

dass die Querschnitte im richtigen Verhältnisse stehen, dass also beiderseits der volle Ueberdruck für die Geschwindigkeit zur Wirkung gelangt.

Die Ueberdruckhöhe, ausgedrückt durch die Höhe einer kälteren Wassersäule von der Temperatur t^0 ergibt sich wie folgt:

Ist δ der Ausdehnungscoëfficient des Wassers und betrachtet man ihn als constant innerhalb der Temperaturgrenzen T^0 und t^0, so ist das specifische Gewicht des Wassers von t^0, und beziehungsweise von T^0:

$$\frac{1}{1 + \delta t} \text{ und } \frac{1}{1 + \delta T}.$$

Um der wärmeren Wassersäule von der gegebenen Höhe h und der Temperatur T^0 das Gleichgewicht zu halten, genügt eine weniger hohe Wassersäule von der geringeren Temperatur t^0 und es besteht, wenn die entsprechende geringere Höhe mit h_0 bezeichnet wird, die Gleichung:

$$h_0 \cdot \frac{1}{1 + \delta t} = h \cdot \frac{1}{1 + \delta T}$$

daraus wird

$$h_0 = h \left(\frac{1 + \delta t}{1 + \delta T}\right)$$

die Ueberdruckhöhe ist also

$$\begin{aligned} h - h_0 &= h - h\left(\frac{1 + \delta t}{1 + \delta T}\right) \\ &= h\left(1 - \frac{1 + \delta t}{1 + \delta T}\right) \\ &= h\left(\frac{1 + \delta T - 1 - \delta t}{1 + \delta T}\right) \\ &= h \cdot \frac{\delta (T - t)}{1 + \delta T} \quad \ldots \ldots \quad (6 \end{aligned}$$

Dieses ist die Ueberdruckhöhe, als eine Wassersäulenhöhe von der geringeren Temperatur t^0. Folglich ist die theoretische Geschwindigkeit des Wassers von dieser Temperatur, indem in die allgemeine Formel der Geschwindigkeit, nämlich $\sqrt{2\, g\, H}$ für H die specielle Ueberdruckhöhe einzusetzen ist:

$$C_0 = \sqrt{\frac{2\, g\, h\, \delta (T - t)}{1 + \delta T}} \quad \ldots \ldots \quad (7$$

Dem nämlichen Ueberdruck entspricht eine grössere Wassersäulenhöhe von der höheren Temperatur T^0, und zwar muss sie in dem Verhältniss grösser sein, in welchem das specifische Gewicht geringer ist, also in dem Verhältniss

$$\frac{1 + \delta T}{1 + \delta t}$$

Die Ueberdruckhöhe, als eine Wassersäulenhöhe von der höheren Temperatur T ist also:

$$h \cdot \frac{\delta\,(T-t)}{1+\delta\,T} \cdot \frac{1+\delta\,T}{1+\delta\,t} = h \cdot \frac{\delta\,(T-t)}{1+\delta\,t} \quad . \quad . \quad (8$$

Demnach ist die theoretische Geschwindigkeit des wärmeren Wassers:

$$C_1 = \sqrt{\frac{2\,g\,h\,\delta\,(T-t)}{1+\delta\,t}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9$$

Der Ausdehnungscoëfficient δ des Wassers ist zwar keineswegs constant (§. 42 S. 86), wird jedoch bei der Wasserheizung gewöhnlich als constant und zwar

$$\delta = 0{,}000\,466$$

angenommen; so von Weisbach, Schinz und Anderen. Diese Zahl passt ziemlich gut als Mittelwerth für die Hochdruckwasserheizung mit Rücksicht auf die Temperatur ca. 50° C. des rückfliessenden Wassers; denn dieser Mittelwerth entspricht der Ausdehnung des Wassers in der Nähe von 110° C. In den Grenzen zwischen 40 und 80 bis 100° C., also für die Niederdruckwasserheizung wäre genauer zu setzen

$$\delta = 0{,}000\,283 \text{ bis } 0{,}000\,320,$$

wofür man den runden Durchschnittswerth setzen kann

$$\delta = 0{,}0003.$$

In den Grenzen von 150 bis 200° C., also für die Hochdruckwasserheizung, wenn man auf die Temperatur des rückfliessenden Wassers nicht Rücksicht zu nehmen hätte, wäre sogar

$$\delta = 0{,}000\,699 \text{ oder } 0{,}0007.$$

Bei allen diesen Ausdehnungscoëfficienten sind die Werthe der Nenner $1 + \delta\,T$ und $1 + \delta\,t$ von 1 wenig verschieden, wie die Volumenwerthe in der Tabelle S. 86 unmittelbar erkennen lassen, und sie können um so mehr gleich 1 gesetzt werden, weil nur die Quadratwurzeln dieser Werthe in Rechnung kommen. Alsdann ergibt sich:

$$C = C_0 = C_1 = \sqrt{2\,g\,h\,\delta\,(T-t)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10$$

als eine einfache und hinreichend genaue Formel für die theoretische Geschwindigkeit der Wassercirculation an der engsten Stelle des Röhrensystems.

Die wirkliche Geschwindigkeit, welche zur Unterscheidung von der in Gleichung 5 geforderten mit v_1 bezeichnet werde, ist alsdann wenn nur die Reibung in einer gleich weiten Röhrenleitung als Widerstand zu berücksichtigen ist, nach §. 83:

$$v_1 = \sqrt{2\,g\,h\,\delta\,(T-t)} : \sqrt{1 + \frac{K_1\,L}{D}} \quad . \quad . \quad . \quad (11$$

und wenn bei einem complicirteren Leitungssystem verschiedenartige Widerstände in Rechnung gezogen werden müssen, und zwar Röhren von zweierlei Weite, n eingeschaltete Gefässe, m Kniestücke vom Winkel α und x Kropfröhren vom Centriwinkel β vorkommen, allgemein nach §. 169:

$$v_1 = C : \sqrt{1 + K_1 \left(\frac{L}{D} + \frac{L_1 D^4}{D_1^{\,5}}\right) + n + m \sin^2 \alpha + x \zeta_2 \frac{\beta}{180}} \qquad (12$$

Dabei ist der Reibungscoëfficient K_1 mit Rücksicht auf die durch Gleichung 5 geforderte Wassergeschwindigkeit aus der Tabelle S. 500 zu entnehmen und der Coëfficient ζ_2 aus der Tabelle S. 497.

Die Längen, welche in die Gleichungen 11 und 12 einzuführen sind, sowie auch die anderen in Gleichung 12 als bekannt geltenden Werthe, ergeben sich aus der speciellen Disposition und hauptsächlich aus der Berechnung der nothwendigen Erwärmungsflächen in den zu heizenden Räumen, wovon in VII die Rede sein wird. Bei Anfertigung des Heizungsentwurfs müssen desshalb jene Berechnungen der nothwendigen Röhrenlängen, beziehungsweise Erwärmungsflächen, der Berechnung der möglichen Geschwindigkeit vorausgehen.

Die in den Gleichungen 6 bis 12 (bei der letzten in dem Werthe für C nach Gl. 10) vorkommenden Temperaturen T^0 und t^0 sind nicht die nämlichen wie $t_1{}^0$ und $t_0{}^0$ in den vorausgehenden Gleichungen, aber sie sind mit Rücksicht auf diese aus der Disposition des Röhrensystems, wie aus später folgenden Untersuchungen sich ergeben wird, annähernd als mittlere Temperaturen zu entnehmen, also nicht als neue unbekannte Grössen zu betrachten, wenn die Temperaturen $t_1{}^0$ und $t_0{}^0$ bekannt sind. Im Allgemeinen wird T mit t_1 und t mit t_0 wachsen und abnehmen.

IV. Vergleichung der nothwendigen und möglichen Circulationsgeschwindigkeit.

Wenn die nach Gleichung 11 oder 12 sich ergebende mögliche Geschwindigkeit v_1 geringer ist als die durch Gleichung 5 geforderte Geschwindigkeit v, so wird man zunächst die theoretische Geschwindigkeit C mit der verlangten v vergleichen. Schwerlich wird es vorkommen, dass schon C geringer ist als v; denn setzt man in Gleichung 10, welche man mit Rücksicht auf den Coëfficienten $\delta = 0{,}000\,466$ und den Werth $g = 9{,}81$ auch schreiben kann

$$C = 0{,}096 \sqrt{h(T - t)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (13$$

die geringen Werthe ein

$$h = 1 \text{ Meter und } (T - t) = 25^\circ\text{C.},$$

so wird die theoretische Geschwindigkeit

$$C = 0{,}096 \sqrt{1 . 25}$$

$$= 0{,}096 . 5 = 0{,}48 \text{ Meter},$$

also nahezu $^1/_2$ Meter in der Secunde, eine Geschwindigkeit, welche für Wasserheizungen nicht leicht verlangt wird.

Ist aber trotz des reichlich grossen Werthes von C dennoch v_1 gegen v zu klein, so kann man einen grösseren Röhrendurchmesser D wählen, oder für die Wasserheizung mit niederem Druck, wenn etwa hin und her geführte Heizröhren projectirt sind, die Röhrenleitung verkürzen und Heizgefässe einschalten, welche weniger Widerstand veranlassen und verhältnissmässig viel Wärme abgeben, ferner und namentlich für die Wasserheizung mit hohem Druck die Röhrenheizflächen durch Rippen vergrössern. In manchen Fällen kann man auch darauf rechnen, dass die Temperatur t_1 an der Erhitzungsstelle genügend erhöht werden darf oder dass die Temperatur t_0 des rückfliessenden Wassers mehr vermindert werden kann, als zuerst angenommen war. Dabei spielt das mit der Heizfläche in Berührung kommende Luftquantum und die Luftführungsweise eine wichtige Rolle.

Zuweilen wird die Rechnung erkennen lassen, dass die geplante Disposition überhaupt keine zweckentsprechende Aenderung zulässt, folglich von Grund aus geändert werden muss. Die nahe liegende einfache Vermehrung der Zahl von Windungen der Wärmeröhren, also die Verlängerung des Röhrensystems, kann trotz der damit erreichten Vergrösserung der Erwärmungsflächen dem Zwecke unter Umständen nicht nur nicht förderlich sein, sondern sogar ihm entgegenstehen. Es kann sich dabei das sonderbare Resultat ergeben, dass eine kleinere Heizfläche besser heizen soll als eine grössere des nämlichen Systems. Dieses Heizflächen-Paradoxon ist erklärlich, wie am besten aus der Annahme eines extremen Falles einleuchten wird. Bei einer so grossen Vermehrung der Röhrenlänge und damit der Bewegungswiderstände, dass die Geschwindigkeit der Circulation nahezu Null wäre, würde man eine sehr grosse Heizfläche und doch fast gar keine Heizwirkung haben, und doch würde die Differenz $(t_1 - t_0)$ die denkbar grösste werden, indem die Röhren an der Erhitzungsstelle einerseits sehr heiss, andererseits fast kalt wären.

Die erste Hauptbedingung, welche in Gleichung 5 ausgesprochen ist, muss unter allen Umständen erfüllt werden; es muss wenigstens so viel heisses Wasser in gewisser Zeit durch das System fliessen, und darin entsprechend entwärmt werden, dass der Wärmebedarf gedeckt wird.

Fällt die berechnete mögliche Geschwindigkeit v_1 grösser aus als die nothwendige Geschwindigkeit v, so dürfte man die Bewegungswiderstände vergrössern, also die Leitung verlängern; man wird diese mit Kostenerhöhung verknüpfte Aenderung aber nicht vornehmen, wenn die projectirte Anlage sonst zweckentsprechend ist, und man nicht etwa noch andere Localitäten in das erwähnte Beheizungsystem zu ziehen Gelegenheit hat. Man wird eben weniger stark und weniger anhaltend heizen lassen.

V. Die nothwendige Temperaturdifferenz des circulirenden Wassers.

In den obigen Untersuchungen ist vorausgesetzt, dass eine bestimmte Temperaturdifferenz $(t_1 - t_0)^0$, welche dem besonderen Falle entspricht, vorhanden sei. Sie genügt aber nur im Verein mit der Geschwindigkeit v, und man kann die Gleichung 5 auch schreiben:

$$v \cdot (t_1 - t_0) = \frac{4\,W}{D^2 \pi \,.\, 3600 \,.\, 1000} \quad \ldots\ldots \quad (14$$

Wie für den Factor v unter Voraussetzung eines bestimmten Werthes des anderen Factors $(t_1 - t_0)$ zu untersuchen war, ob das geplante Röhrensystem die Erreichung der verlangten Circulationsgeschwindigkeit gestatte, so ist ferner auch unter Voraussetzung der vorhandenen nothwendigen Geschwindigkeit v zu untersuchen, ob bei dieser die erforderliche Wärmeabgabe, entsprechend der Temperaturdifferenz $(t_1 - t_0)$, stattfindet. Es ist denkbar, dass die wärmenden Flächen von so geringer Grösse oder so schlecht ausgenützt wären, dass trotz einer genügenden und sogar übermässig lebhaften Circulation von sehr heissem Wasser die gewünschte Wärmeabgabe nicht stattfindet.

Zugleich ist auch nothwendig, dass die Wiedererwärmung des auf die Temperatur $t_0{}^0$ abgekühlten Wassers auf die Temperatur $t_1{}^0$ beständig wieder während der Wassercirculation bewerkstelligt werde.

Ob die Entwärmung des circulirenden Wassers von $t_1{}^0$ auf $t_0{}^0$ erfolgt, das hängt von der Grösse, Beschaffenheit und Anordnung der Heizflächen in den Zimmern ab; und ob das mit der Temperatur $t_0{}^0$ an der Feuerstelle ankommende Wasser diese mit der Temperatur $t_1{}^0$ verlasse, von der Feuerungseinrichtung, namentlich von der daselbst angewandten Heizfläche. Beide Theile sind also in Betrachtung zu ziehen, wie es beispielsweise unter einfachen Annahmen — also keineswegs für alle Fälle massgebend — im Folgenden geschehen soll.

VI. Heizfläche für Erwärmung des Circulations-Wassers.

Ist die Heizfläche die Wandung eines einfachen Walzenkessels, wie es gewöhnlich und zweckmässig bei der Niederdruck-Wasserheizung der Fall ist, so hat man eine Einstromheizfläche zu berechnen, wobei man die Gleichung II. oder bequemer II a (§. 198) anwenden kann. Letztere Gleichung ist

$$F_e = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\, [Log\,(T_0 - t_1) - Log\,(T_1 - t_1)]}{k\,(T_0 - T_1)}$$

Darin ist:

F_e die Kesselheizfläche in Quadratmeter,
W der stündliche Wärmebedarf in Calorien,
T_0 die Temperatur am Kessel über dem Rost, z. B. 1000° C.,
T_1 die Temperatur der Feuergase am hinteren Ende des Kessels, z. B. 300° C.,
t_1 die Temperatur des Wassers im Kessel, z. B. 80° C.,
k = 23 der Wärmedurchgangscoëfficient, d. i. die bei 1° Temperaturunterschied durch 1 qm Heizfläche in der Stunde gehende Wärmemenge.

Die angegebenen Temperaturen und der Coëfficient $k = 23$ sind die von Redtenbacher und Grashof angenommenen Werthe. Damit ergibt sich die Kesselheizfläche:

$$F_e = \frac{W}{11\,250} \text{ Quadratmeter.}$$

Bei der Hochdruck-Wasserheizung ist für den dem Feuer auszusetzenden Röhrentheil die Heizfläche, beziehungsweise die Länge zu berechnen, und zwar, je nach der Einrichtung, mittels der Gleichungen der Parallelstrom- oder Gegenstrom-Heizfläche.

Unter Veraussetzung einer Gegenstromheizfläche ist nach Gleichung IV a (§. 198):

$$F_g = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\, [Log\,(T_0 - t_1) - Log\,(T_1 - t_0)]}{k\,(T_0 - T_1 + t_0 - t_1)}$$

Setzt man hier mit Redtenbacher und Grashof:

t_0 als die Temperatur, mit welcher das Circulationswasser an die Erhitzungsstelle gelangt, = 50° C.,
t_1 als die Temperatur, mit welcher das Circulationswasser die Erhitzungsstelle verlässt, = 150° C.

Die übrigen Grössen wie vorhin, ebenso k = 23, wobei die innere Röhrenfläche als die gesuchte gilt, so wird:

$$F_g = \frac{W}{11\,280}$$

Ist der innere Durchmesser der Röhren 0,0125 m und die gesuchte Länge L, so ist:

$$F_g = 0{,}0125 \;.\; 3{,}142 \;.\; L = \frac{W}{11\,280}$$

und danach

$$L = \frac{W}{440}$$

Auf diese Weise kann man in jedem gegebenen Falle die nothwendige Grösse der dem Feuer auszusetzenden Heizfläche berechnen, um sicher zu sein, dass die Erhitzung des Wassers von der Temperatur $t_0{}^0$ auf die Temperatur $t_1{}^0$ erfolgt.

VII. Heizflächen und Röhrenlängen für Erwärmung der Räume.

Es ist von Wichtigkeit, die Heizflächen der Wasser-Circulationsröhren oder der in die Leitung eingeschalteten Heizgefässe so anzubringen, dass die Entwärmung derselben nicht gehindert ist. Wären die Heizflächen mit Mänteln umgeben, in welche die Circulations- oder Ventilationsluft nur in verhältnissmässig geringer Menge einfliessen könnte, so würden auch die Heizflächen zu wenig Wirkung äussern.

Es werde vorerst angenommen, dass sich die Heizflächen frei in den zu heizenden Räumen befinden, allseitig von der zu erwärmenden Luft umgeben. Die Temperatur, auf welcher die Luft erhalten werden soll, sei t^0 C.

Die hier anzuwendende Gleichung für die Einstromheizfläche ist

$$F_e = \frac{W \;.\; 2{,}302\,585\; [(Log\; t_1 - t) - Log\; (t_0 - t)]}{k\; (t_1 - t_0)}$$

Für die Niederdruck-Wasserheizung mit den Werthen

$$t_1 = 80^0,\; t_0 = 40^0,\; t = 14^0 \text{ C.},$$

indem man z. B. die Berechnung für Werkstättenräume zu machen hat, ergibt sich

$$F_e = \frac{W}{990} \text{ oder rund } \frac{W}{1000} \text{ Quadratmeter.}$$

Ist der Röhrendurchmesser $D = 0{,}07$ m und die Röhrenlänge L, so ist

$$F_e = D\,\pi\,L = 0{,}07 \;.\; 3{,}142 \;.\; L$$

$$L = \frac{W}{1000 \cdot 0{,}07 \cdot 3{,}142} = \frac{W}{220} \text{ Meter.}$$

Wenn aber in gleicher Weise Circulationsröhren für Hochdruck-Wasserheizung angebracht sind, so wird für $t_1 = 150^0$ und $t_0 = 50^0$ C., die Erwärmungsfläche:

$$F_e = \frac{W}{1730}$$

und die entsprechende Länge L einer 0,0125 m weiten Heizröhre ist

$$L = \frac{W}{1730 \cdot 0{,}0125 \cdot 3{,}142} = \frac{W}{68} \text{ Meter.}$$

Man möge diese Zahlenwerthe nicht als allgemein anwendbare ansehen, da man in vielen Fällen die Zimmertemperatur $t = 18$ oder 20^0 C. anstatt 14^0 C. annehmen muss. Auch würden bei der Entwärmung der Heizflächen in Luftcirculations- oder Ventilationsgehäusen, in Ofenmänteln mit Parallelströmung oder Gegenströmung die Werthe andere werden, jedoch sich nach den gegebenen Formeln berechnen lassen.

Reichlich grosse Querschnitte für die Luftströmung müssen dabei vorausgesetzt werden, da in einer zu geringen und daher rasch erwärmten Luftmenge die weitere Wärmeabgabe nicht in dem Masse stattfinden kann, wie es bei den der Rechnung zu Grunde liegenden normalen Verhältnissen der Fall wäre und wie man es nach Massgabe guter Einrichtungen erwarten und verlangen wird. Berechnungen der strömenden Luftmengen nach den im Abschnitt über Ventilation und bei der Luftheizung gegebenen Regeln und Gleichungen werden in dieser Beziehung Aufschluss gewähren.

§. 263.

Vertheilung der Circulationsröhren auf die einzelnen zu heizenden Räume.

Um die Röhrenlänge zu bestimmen, welche erforderlich ist, um irgend einen speciellen Raum des Gebäudes bis zu einem vorgeschriebenen Grade zu erwärmen, genügt es nach Redtenbacher*), wenn man die Rechnung unter der Voraussetzung macht, dass in der ganzen Ausdehnung des Röhrenstücks, welches diesen Raum zu erwärmen hat, die mittlere Temperatur $\frac{1}{2}(t_1 + t_0)$ stattfindet, wobei wie bei der Berechnung der nöthigen Gesammtheizfläche t_1 die Temperatur des von der Feuerung

*) Redtenbacher, der Maschienenbau, II. Band, S. 435.

abgehenden und t_0 die Temperatur des dahin zurück gelangenden Wassers ist. Nennt man w die Wärmemenge, welche für die Heizung dieses speciellen Raumes nothwendig ist, f die innere Fläche der zur Erwärmung des Raumes bei der Hochdruck-Wasserheizung nothwendigen Wärmeröhre, t die Temperatur, welche im Raume herrschen soll, so wäre:

$$f = \frac{w}{k\,[{}^1/_2\,(t_1 + t_0) - t]}$$

Für $k = 23$, $t_1 = 150^0$, $t_0 = 50^0$, $t = 14^0$ C. wird

$$f = \frac{w}{1978}$$

und bei einer Röhrenweite von 0,0125 m die Länge

$$l = \frac{w}{78}.$$

Solche Berechnungsweise mit Einführung der äussersten Temperaturen darf für einen beliebigen Raum offenbar nur dann in Anwendung kommen, wenn ein Vorlauf und ein Rücklauf in diesem Raume vorhanden sind, in welchem Falle die Summen der Temperaturen eines Punktes im Vorlauf und des gegenüber liegenden Punktes im Rücklauf nahezu constant sind. Ausserdem macht es einen grossen Unterschied, ob ein Raum am Anfang des Vorlaufs oder am Ende des Rücklaufs liegt. Im letzteren Falle muss die Erwärmungsfläche bedeutend grösser sein.

Wie weit die eben vorgeführte Berechnungsweise auch bei der erwähnten Beschränkung ungenau ist, ersieht man durch Vergleichung der vorhin mittels der genauen Gleichung der Einstromheizfläche mit denselben Werthen berechneten Grössen:

$$F = \frac{W}{1730} \text{ und } L = \frac{W}{68}.$$

Es würde demnach hier wohl der Mühe werth sein, die genaueren Formeln anzuwenden. Unter welchen Umständen die Näherungsgleichung genügend genaue Resultate gibt, wird sich weiterhin herausstellen.

Um ohne die Bedingung der Nebeneinanderlegung eines Vorlaufs und Rücklaufs die Eintheilung der Röhrenlängen einer Circulation für mehrere Räume mit gleichem oder ungleichem Wärmebedarf festzustellen, kann man allgemein in folgender Weise verfahren.

Es sei die Eintheilung für drei Säle zu suchen. Der Wärmebedarf sei pro Stunde:

für den 1. Saal m Calorien,
" " 2. " n "
" " 3. " p "
zusammen $m + n + p = W$ Calorien.

Das Circulationswasser gelange mit der Temperatur t_1 in den ersten Saal und verlasse den letzten mit der Temperatur t_0. Die Abkühlung des heissen Circulationswassers hat alsdann in folgendem Verhältniss zu geschehen:

im 1. Saal um $\frac{m}{W}(t_1 - t_0)$ Grad Celsius,

„ 2. „ „ $\frac{n}{W}(t_1 - t_0)$ „ „

„ 3. „ „ $\frac{p}{W}(t_1 - t_0)$ „ „

Daraus ergeben sich die Einströmungs- und Ausströmungstemperaturen wie folgt:

Einströmungstemperaturen.	Ausströmungstemperaturen.
Erster Saal.	
t_1	$t_1 - \frac{m}{W}(t_1 - t_0)$
Zweiter Saal.	
$t_1 - \frac{m}{W}(t_1 - t_0)$	$t_1 - \frac{m}{W}(t_1 - t_0) - \frac{n}{W}(t_1 - t_0)$
	$= t_1 - \frac{m + n}{W}(t_1 - t_0)$
Dritter Saal.	
$t_1 - \frac{m + n}{W}(t_1 - t_0)$	$t_1 - \frac{m + n}{W}(t_1 - t_0) - \frac{p}{W}(t_1 - t_0)$
	$= t_1 - \frac{m + n + p}{W}(t_1 - t_0)$
	$= t_1 - t_1 + t_0 = t_0.$

Die Zahlenwerthe der Temperaturen, welche sich auf diese Weise in einem speciellen Falle leicht berechnen lassen, sind für t_1 und t_0 in die Gleichungen der betreffenden Heizflächen einzusetzen, wonach bei gegebenem Röhrendurchmesser die zugehörige Röhrenlänge in bekannter Weise gefunden wird.

Wäre der Wärmebedarf in jedem Saale die gleiche, so wäre

$$m = n = p = \frac{1}{3} W,$$

die Abkühlung des Circulationswassers müsste in jedem Saale betragen

$$\frac{1}{3}(t_1 - t_0) \text{ Grade Celsius,}$$

und die Zusammenstellung würde die folgende sein:

Einströmungstemperaturen.	Ausströmungstemperaturen.
Im ersten Saal.	
t_1	$t_1 - \frac{1}{3}(t_1 - t_0)$
Im zweiten Saal.	
$t_1 - \frac{1}{3}(t_1 - t_0)$	$t_1 - \frac{2}{3}(t_1 - t_0)$
Im dritten Saal.	
$t_1 - \frac{2}{3}(t_1 - t_0)$	$t_1 - \frac{3}{3}(t_1 - t_0) = t_0$

Die Weiterführung dieser allgemeinen Untersuchung ist nicht schwierig, aber wegen der langen Formeln etwas umständlich. Desshalb mag die Untersuchung durch Einführung bestimmter Zahlenwerthe vereinfacht worden.

Es sei beispielsweise für eine Hochdruck-Wasserheizung

$$t_1 = 140^0,\ t_0 = 50^0,\ t = 15^0\,C.$$

Dann sind für gleichen Wärmebedarf der drei Säle die Abkühlungsgrössen gleich, entsprechen in jedem $\frac{90}{3} = 30^0$ und es sind bei richtiger Eintheilung der Wärmeröhren die Temperaturen der

	Einströmung	Ausströmung
im ersten Saal	140⁰	110⁰
im zweiten Saal	110⁰	80⁰
im dritten Saal	80⁰	50⁰

Will man hier anstatt der genauen Gleichung der Einstromheizfläche der Einfachheit wegen jene der Nichtstromheizfläche anwenden, nämlich

$$F'_n = \frac{W}{k\,(T - t)}$$

wobei t die Temperatur der zu heizenden Säle ist und T die mittlere Temperatur der Heizfläche daselbst, so ist zu setzen:

für den ersten Saal

$$T = \frac{140 + 110}{2} = \frac{250}{2} = 125^0,$$

für den zweiten Saal

$$T = \frac{110 + 80}{2} = \frac{190}{2} = 95^0,$$

für den dritten Saal

$$T = \frac{80 + 50}{2} = \frac{130}{2} = 65^0,$$

für die ganze Röhrenleitung:

$$T = \frac{140 + 50}{2} = \frac{190}{2} = 95^{0}.$$

Heizfläche für den ersten Saal:

$$F_1 = \frac{W}{3\,k\,(125 - 15)} = \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}0091 \text{ Quadratmeter.}$$

Heizfläche für den zweiten Saal:

$$F_2 = \frac{W}{3\,k\,(95 - 15)} = \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}0125 \text{ Quadratmeter.}$$

Heizfläche für den dritten Saal:

$$F_3 = \frac{W}{3\,k\,(65 - 15)} = \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}0200 \text{ Quadratmeter.}$$

Es verhalten sich also die drei Heizflächen und folglich bei gleichem Durchmesser auch die drei Röhrenlängen wie

$$0{,}0091 : 0{,}0125 : 0{,}0200$$

oder wie:

$$91 : 125 : 200$$

Die Summe der drei Heizflächenwerthe ist

$$\frac{W}{3\,k}\,(0{,}0091 + 0{,}0125 + 0{,}0200) = \frac{W}{k} \,.\, 0{,}0139.$$

Dagegen ergibt die directe Berechnung der Gesammtheizfläche nach der nämlichen Näherungsgleichung:

$$F = \frac{W}{k\,(95 - 15)} = \frac{W}{k \,.\, 80} = \frac{W}{k} \,.\, 0{,}0125.$$

Die directe Berechnung der Gesammtleitung ergibt also eine andere Länge als die Berechnung durch Summirung der einzelnen Theile, und zwar eine zu geringe, weil dabei die Länge des mehr wirksamen heisseren Theiles grösser in Rechnung kommt als sie wirklich ist, mit anderen Worten, weil für jeden berechneten Röhrentheil, sowie auch für die ganze Leitung, jedesmal gleichmässige Temperaturabnahme vorausgesetzt ist, während jedoch im ersten heisseren Theile einer jeden Strecke die Temperatur schneller, im letzten kälteren Theile langsamer abnimmt, als im mittleren. Das Resultat muss in Folge dessen um so unrichtiger werden, je grösser die Leitungsstrecke zwischen den richtigen Temperaturen angenommen wird.

Daraus geht hervor, dass im Allgemeinen, also auch für die Berechnung der Heizflächen und Röhrenlängen in den einzelnen Räumen, die einfache Näherungsgleichung zu geringe Werthe liefert. Um beurtheilen zu können, in welchem Masse jene Werthe zu gering sind, soll nun das Verhältniss der Heizflächen und Röhrenlängen nach der rich-

tigen Gleichung der Einstromheizfläche bestimmt werden, also nach der Gleichung

$$F_e = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\,[Log\,(T_0 - t) - Log\,(T_1 - t)]}{k\,(T_0 - T_1)}$$

Darin ist in Uebereinstimmung mit Obigem zu setzen:

$$T_0 = 140,\quad 110,\quad 80,$$
$$T_1 = 110,\quad 80,\quad 50.$$

Dann wird mit Rücksicht auf die in jedem Saale erforderliche Wärmemenge $\frac{1}{3}\,W$:

Die Heizfläche für den ersten Saal:

$$F_1 = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\,[Log\,(140 - 15) - Log\,(100 - 15)]}{3\,k\,(140 - 110)}$$

$$= \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}009\,147 \text{ Quadratmeter;}$$

die Heizfläche für den zweiten Saal:

$$F_2 = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\,[Log\,(110 - 15) - Log\,(80 - 15)]}{3\,k\,(110 - 80)}$$

$$= \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}012\,645 \text{ Quadratmeter;}$$

die Heizfläche für den dritten Saal:

$$F_3 = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\,[Log\,(80 - 15) - Log\,(50 - 15)]}{3\,k\,(80 - 50)}$$

$$= \frac{W}{3\,k} \,.\, 0{,}020\,634 \text{ Qudratmeter.}$$

Wie man aus der Vergleichung mit den vorhergehenden Resultaten ersieht, waren die Werthe dort nur so unbedentend geringer, dass sie unbedenklich für die Ausführung benützt werden könnten.

Für die directe Berechnung der Gesammtheizfläche wird

$$F = \frac{W \,.\, 2{,}302\,585\,[Log\,(140 - 15) - Log\,(50 - 15)]}{k\,(140 - 50)}$$

$$= \frac{W}{k} \,.\, 0{,}014\,142 \text{ Quadratmeter.}$$

Die Summe der Einzelwerthe ist jetzt

$$F_1 + F_2 + F_3 = \frac{W}{3\,k}\,(0{,}009\,147 + 0{,}012\,645 + 0{,}020\,634)$$

$$= \frac{W}{k} \,.\, 0{,}014\,142 \text{ Quadratmeter.}$$

Die Summirung der Einzelwerthe ergibt also hier genau den nämlichen Werth, wie die directe Berechnung der Gesammtheizfläche, während

bei der vorigen Näherungsrechnung die Gesammtheizfläche unmittelbar nur

$$0{,}0125 \frac{W}{k} \text{ anstatt } 0{,}014142 \frac{W}{k}$$

gefunden worden ist, die Einzelwerthe aber schon richtiger waren.

Das Verhältniss der Heizflächen oder Röhrenlängen war

91 : 125 : 200,

und ist nun genauer

91 : 126 : 206.

Die einfache Näherungsrechnung ist demnach um so mehr zulässig, je mehr einzelne Abtheilungen man als Summanden berechnet, deren Summe man alsdann als die Gesammtheizfläche, beziehungsweise Gesammt-Röhrenlänge annehmen kann.

Daraus geht auch hervor, dass es nicht nothwendig ist, die Erwärmungsflächen eingeschalteter Wasserheizungsgefässe, welche der Kategorie der Nichtstromheizflächen angehören, von den Einstromheizflächen der Röhren getrennt zu berechnen, dass vielmehr alle diese Heizflächen zusammen für jeden einzelnen Raum in einfacher Weise bestimmt werden können, dass man folglich auch bei der Anfertigung des Heizungsentwurfs nach Feststellung der Heizflächengrössen die Disposition der speciellen Anlage, das Verhältniss der Röhrenheizflächen zu den Gefässheizflächen in weiten Grenzen verändern kann, ohne desshalb eine wiederholte und complicirte Berechnung durchführen zu müssen, ein Umstand, welchen ich zwar nicht für besonders wichtig halte, der jedoch in manchen Fällen erwünscht sein wird*).

§. 264.

Einrichtung der Apparate für die Niederdruck-Wasserheizung.

Bei der Niederdruck-Wasserheizung tritt das Wasser mit 80 bis 100° C. oder auch etwas heisser aus dem Kessel und gelangt mit 40°, auch etwas kälter oder wärmer, dahin zurück.

*) Kürzlich sind in der Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur- und Architektenvereins, VIII und IX, dann XI Heft 1879 zwei lehrreiche Abhandlungen von Dr. Weiss, o. ö. Professor an der technischen Hochschule in Brünn, publicirt worden, auf welche hiermit für weiteres Studium verwiesen werden mag, nämlich:

„Kritische Bemerkungen über die für Wasserheiz-Anlagen angewendeten Berechnungsmethoden“; dann: „Die Minimalgrösse der Röhrenoberfläche einer Wasserheizung und das relativ sparsamste Ventilations-Volumen“.

Der zur Erwärmung des circulirenden Wassers dienende Kessel kann wie bei der Dampfheizung beschaffen, ein einfacher Walzenkessel sein. Er kann jedoch eine horizontale, verticale oder schräge Lage haben, und soll, da sein ganzer Fassungsraum als Wasserraum auftritt, nicht nur etwas mehr als zur Hälfte, sondern möglichst vollständig dem Feuerstrom ausgesetzt sein. Dieses ist bei Berechnung der Kesselheizfläche und Kesselfläche zu berücksichtigen.

Die Leitungs- und Erwärmungsröhren sind zweckmässig von Gusseisen, 6 bis 8 cm weit, gehen von einem der höchsten Punkte des Kessels aus, werden durch die zu erwärmenden Räume geführt, wo beliebige Heizgefässe eingeschaltet sein können und treten an einem der tiefsten Punkte der Kesselwand wieder in den Kessel ein. Solcher Circulationen können mehrere an einem Kessel angebracht sein.

Jede Circulation ist gewöhnlich oben unmittelbar über der Steigröhre mit einem offenen oder leicht geschlossenen Gefässe, Expansionsreservoir, versehen, welches die Volumenveränderungen des Wassers unter dem ziemlich constanten Atmosphärendruck gestattet und zugleich zum Einbringen des Wassers in den Apparat und zur Entlassung der Luft aus dem Röhrensystem dient. Es ist von Blech oder Gusseisen und muss einen freien Fassungsraum von wenigstens $^{5}/_{100}$ des gesammten Wasservolumens haben, um das bei der Erwärmung dahin verdrängte Wasser aufnehmen zu können. Zuweilen ist ein besonderes Expansionsreservoir dieser Art nicht vorhanden, dann ist aber derselbe Zweck durch einen oder mehrere offene Theile an den oberen Röhren oder Heizkörpern erreicht.

Meistens ist das Expansionsreservoir mit einer Platte bedeckt, welche eine Oeffnung hat, damit der innere Druck am oberen Theile des Apparates den Atmosphärendruck nicht überschreitet. Auf diesem Wege hann auch der mitunter sich entwickelnde Dampf entweichen. Da solcher aber in grossen Blasen und mit bedeutender Geschwindigkeit an die Wasseroberfläche gelangt, so ist es zweckmässig, das Expansionsreservoir grösser als für die Wasserausdehnung nöthig zu machen, damit nicht Wasser in aufwallender Bewegung entweicht.

In der Regel wird zwar verlangt, das Wasser im Kessel solle nicht ganz auf den dem normalen Atmosphärendruck entsprechenden Siedpunkt erhitzt werden, damit ein Ueberwallen nicht stattfinden könne. Allein es wird nicht selten vorkommen, dass man das Wasser weit mehr erhitzt; es kann in der That bei hohen Gebäuden auch bei offenem Expansionsgefäss bis auf etwa 130° C. erhitzt werden. Steht eine Wassersäule von 15 m Höhe über dem Kessel, so übt diese einen

Druck von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären aus; das Wasser im Kessel steht alsdann unter einem Drucke von $2\frac{1}{2}$ Atmosphären, und hierbei kann die Temperatur des Wassers im Kessel auf 127,8° C. steigen (s. Tabellen §. 56 und 250), denn das Wasser nimmt die nämliche Temperatur an, welche gesättigter Dampf unter gleichem Drucke haben würde, oder mit anderen Worten, der Siedpunkt des Wassers ist gleich der Dampftemperatur unter dem nämlichen Drucke.

In der Absicht, die Wassercirculation lebhafter zu machen, pflegt man den Apparat so einzurichten, dass die aufsteigende Röhre so wenig Biegungen wie möglich erhält, vielmehr möglichst vertical bis in das Expansionsreservoir emporgeführt wird, damit sich diese Wassersäule wenig abkühlt; dass dagegen die niedergehende Leitung der Abkühlung eine grosse Oberfläche darbietet. Auch Péclet sagt, es sei evident, dass man zum Zwecke einer lebhafteren Circulation die Einrichtung in dieser Weise machen müsse. So klar dieses auf den ersten Blick zu sein scheint, so unbegründet erweist es sich bei genauerer Untersuchung. Die Geschwindigkeit der Circulation hängt unter sonst gleichen Umständen von dem Unterschied ab, welcher zwischen den mittleren Temperaturen der beiden Wassersäulen besteht. Je höher die Temperatur ist, mit welcher das Wasser oben ankommt, desto höher ist allerdings die mittlere Temperatur der Steigsäule, desto höher aber auch die mittlere Temperatur der Rückleitung. Ist die Temperatur

des vom Kessel ausgehenden Wassers T^0,
des in den Kessel zurückfliessenden . t^0,
am oberen Ende der Steigröhre . . $T_1{}^0$,

so ist die mittlere Temperatur

in der Steigröhre: $\frac{T + T_1}{2}$

in der Rückleitung: $\frac{T_1 + t}{2}$

Der Unterschied der mittleren Temperaturen ist

$$\frac{T + T_1}{2} - \frac{T_1 + t}{2} = \frac{T + T_1 - T_1 - t}{2} = \frac{T - t}{2}$$

Die Zwischentemperatur T_1 ist also eliminirt, das heisst: die Temperatur am oberen Ende der Steigröhre hat auf die massgebliche Differenz keinen Einfluss.

Man betrachte folgende drei verschiedene Systeme von gleicher Höhen- und Längenausdehnung, wobei jedesmal das vom Kessel weggehende Wasser wie das im Kessel selbst die Temperatur 100° C. habe und am Ende der Circulation mit 40° in den Kessel zurückfliesse.

Erster Fall (Fig. 356). Die verticale Steigröhre sei gegen Wärmeverluste so gut verwahrt, dass in ihr das Wasser mit 100° oben anlange, und die Abkühlung finde in der verlängerten Rückleitung allmählich statt.

Mittlere Temperatur der wärmeren Säule	100°
„ „ „ kälteren „	70°
Temperaturunterschied	30°

Zweiter Fall (Fig. 357). Die Steigröhre werde ebenso wie die Rückleitung zur Erwärmung der Räume benützt und das Wasser gelange mit 70° auf den höchsten Punkt.

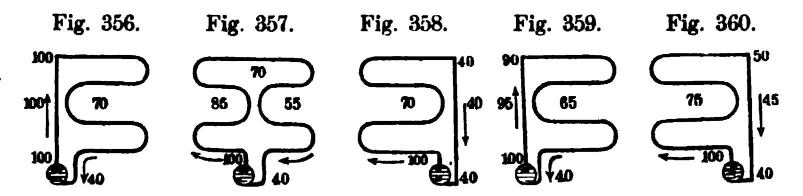
Mittlere Temperatur der wärmeren Säule	85°
„ „ „ kälteren „	55°
Temperaturunterschied	30°

Dritter Fall (Fig. 358). Die steigende Leitung allein werde zur Erwärmung der Räume benützt, das Wasser komme auf 40° abgekühlt oben an und werde ohne weitere Abkühlung herabgeführt.

Mittlere Temperatur der wärmeren Säule	70°
„ „ „ kälteren „	40°
Temperaturunterschied	30°

Man könnte einwenden, das seien ideelle Annahmen, die in der Praxis nicht zu verwenden seien, weil bei dem ersten Falle in der Steigröhre, bei dem dritten in der Fallröhre Abkühlung nicht zu verhüten sei.

Fig. 356. Fig. 357. Fig. 358. Fig. 359. Fig. 360.



Man ändere die Annahmen. Setzt man im ersten Falle — der Wirklichkeit besser entsprechend — die Temperatur oben 90° (Fig. 359), so ist die fragliche Temperaturdifferenz

$$95^{0} - 65^{0} = 30^{0}.$$

Setzt man endlich ebenso der Wirklichkeit besser entsprechend im dritten Falle die Temperatur oben 50° (Fig. 360), so ist die Temperaturdifferenz

$$75^{0} - 45^{0} = 30^{0}.$$

Es ist also, wie immer man auch die Leitung betrachten mag, der nämliche Unterschied der mittleren Temperaturen vorhanden, also die

nämliche Geschwindigkeit, wenigstens soweit das Resultat von praktischem Belang ist.

Einen kleinen Unterschied der Geschwindigkeiten veranlasst die absolute Grösse der Temperatur. Wie aus den Gleichungen 7 und 9 (§. 262) ersichtlich, kommt in den Gleichungen der theoretischen Geschwindigkeit die Temperatur selbst noch im Divisor vor; je niederer also bei gleicher Temperaturdifferenz die Temperatur überhaupt, desto grösser ist die Geschwindigkeit. In dieser Hinsicht wäre der obige dritte Fall sogar der günstigste.

Dieses Resultat tritt noch mehr hervor, wenn man auf den Reibungswiderstand Rücksicht nimmt. Von der Veränderlichkeit des Reibungscoëfficienten mit der Geschwindigkeit und Temperatur mag hierbei abgesehen werden, da ohne Zweifel diese Einflüsse verhältnissmässig gering sind. Wichtiger ist der Umstand, dass für den Durchfluss einer gleichen Masse der specifisch schwereren Flüssigkeit in der Zeiteinheit der nothwendige Querschnitt sich kleiner ergibt. Der vorhandene Röhrenquerschnitt ist also, wenn er der höheren Temperatur angepasst ist, für die niedere etwas grösser als nothwendig, und dadurch wird für das kältere Wasser der Reibungswiderstand geringer.

Aus mehrfachen Gründen ist es danach für den Zweck einer lebhaften Circulation günstig, die Entwärmung des Wassers schon in der Steigleitung herbeizuführen, natürlich unter der Voraussetzung, dass diese Entwärmung nicht nutzlos, sondern durch Wärmeemission an die zu heizenden Räume geschieht.

Uebrigens erkennt man aus weiteren Untersuchungen, dass der Unterschied des Effects bei den verschiedenen Systemen gering ist, so gering, dass man sich für das eine oder andere System nach den localen Verhältnissen entscheiden kann. Es sollte im Obigen hauptsächlich gezeigt werden, dass in theoretischer Beziehung kein Grund vorliegt, die gebräuchliche Einrichtung für die allein zulässige oder für die entschieden beste zu halten.

Vergleicht man nun die drei Systeme weiter in praktischer Beziehung, so wird sich Folgendes annehmen lassen:

1. Das erste System gibt am meisten Veranlassung zu Wärmeverlusten, weniger das dritte, weil die nicht als Heizfläche benützte Leitungsstrecke kälter ist, am wenigsten das zweite, weil fast die ganze Leitungslänge für die Heizflächen ausgenützt werden kann.

2. Das zweite System erfordert die geringste Röhrenlänge, die beiden andern erfordern eine ziemlich gleiche grössere.

3. Das zweite System lässt am besten die Wassersäcke vermeiden;

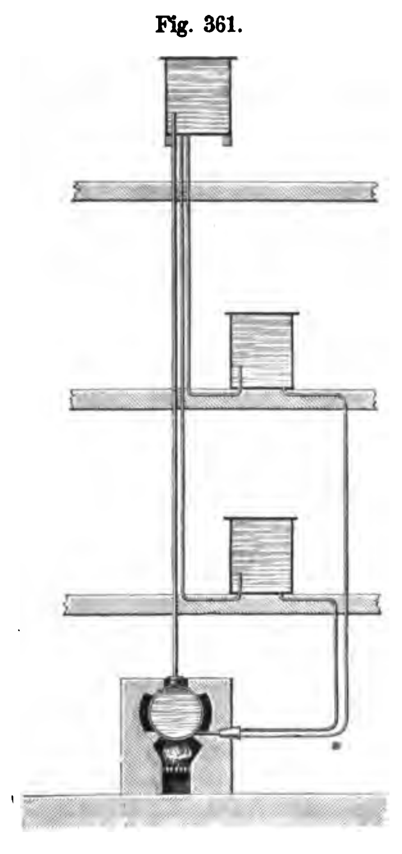
die beiden andern veranlassen zum Zwecke der Vermeidung solcher gleiche Unbequemlichkeiten.

In mehrfacher Beziehung steht also das erste wie das dritte System gleichmässig hinter dem zweiten zurück, und nach Allem was in Betrachtung gezogen wurde, müsste man folgern, dass das gebräuchliche erste System das schlechteste wäre. Es hat aber einen anderen Vorzug, nämlich den, dass die Circulation mit der möglichen Geschwindigkeit, der Beharrungszustand der Circulation, bei dem ersten System am schnellsten eintritt, weniger rasch bei dem zweiten, am wenigsten rasch bei dem dritten. Dieses hat übrigens wenig Bedeutung, da bei einem jeden der drei Systeme sich der Beharrungszustand ziemlich rasch einstellt, wenn nicht eine verkehrte Strömung eintritt. Eine solche kann bei dem ersten System nicht leicht vorkommen, weil sich die Steigröhre mit warmem Wasser füllt, während die Rückleitung noch kalt ist. Auch bei dem zweiten System ist unter normalen Umständen keine Ursache verkehrter Strömung denkbar, wohl aber bei dem dritten. Sobald das Wasser im Kessel (oder in der Ofenschlange) erhitzt wird, dehnt es sich aus, und zwar zugleich nach beiden Seiten, wenn auf beiden Seiten das Wasser in den Röhren noch kalt ist. Es gelangt also warmes Wasser nach beiden Seiten in die Leitung; in der verticalen Röhre, welche bei dem dritten System für die Rückleitung bestimmt ist, bildet es in gleicher Zeit eine warme Säule von grösserer Höhe, als in der gekrümmten Leitung, der Ueberdruck ist alsdann gegen die verticale Röhre gerichtet und die Strömung nimmt eine verkehrte Richtung an, die von selbst sich nicht ändern wird. Die verkehrte Strömung ist desswegen nachtheilig, weil die Röhrenlängen, beziehungsweise Heizflächen für eine bestimmte Grösse des Wärmebedarfs dem gewählten System entsprechend nach der einen Richtung zunehmend angelegt werden. Man kann jedoch das Zustandekommen der verkehrten Strömung verhindern, vermuthlich auch die bereits entstandene umkehren, wenn man die verticale Röhre mittels eines Hahns in der Nähe des Kessels so lange gesperrt lässt, bis die gekrümmte Leitung gut erwärmt, beziehungsweise bedeutend wärmer ist als die verticale Röhre. Ist die richtige Strömung einmal im Gange, dann wird eine Umkehrung nicht leicht eintreten. Ich kann vorläufig diesen Aufstellungen keine Erfahrungsbeläge beifügen, weil mir nicht bekannt ist, wo und ob Wasserheizungen nach dem zweiten und dritten System angewendet und erprobt worden sind*).

*) Herr Ingenieur Jos. Strebel in Hamburg hat auf Grund gleicher theoretischer Anschauungen hin, wie sie im Obigen dargelegt sind, bei dem Entwurf

Es handelt sich dabei um die Einrichtung in mehrstöckigen Gebäuden; bei niedrigen Leitungen in einem Stockwerk ist die Benützung des Vorlaufs und Rücklaufs zu Heizflächen nicht neu.

Fig. 361.



In Gewächshäusern besteht der Wasserheizungsapparat im Wesentlichen aus dem Kessel und aus einer etwas geneigten Röhre, welche von dem oberen Theile des Kessels ausgeht, das Haus nach der Länge durchläuft und ebenso zum unteren Theile des Kessels zurückkommt.

Ein für andere Gebäude mit mehreren Stockwerken übliche Einrichtung ist die, den niedergehenden Strom in die Zimmer zu führen, wo das warme Wasser in Oefen irgend welcher Form länger znrückgehalten wird. Die Oefen in verschiedenen Stockwerken können von dem nämlichen Wasserstrom durchflossen werden; um aber grössere Temperaturgleichheit des warmen Wassers in den verschiedenen Stockwerken zu erzielen, führt man in jeden Raum einen besonderen Strom vom Expansionsreservoir herab, wie Fig. 361 zeigt*). In einem solchen Ofen können verticale Röhren angebracht sein, welche unten und oben offen sind und die Zimmerluft oder die unten zugeleitete Aussenluft erwärmen.

---

der Heizungsanlagen (Mitteldruck-Wasserheizung) für das neue Untersuchungsgefängniss vor dem Holstenthore in Hamburg die Annahme der drei Systeme veranlasst, jedoch mit vorwiegender Anwendung des zweiten Systems, wobei Vorlauf und Rücklauf direct zur Heizung benützt werden. Die Einrichtung wird im Sommer 1880 vollendet werden. Hoffentlich wird Herr Strebel die sehr interessanten Einrichtungen und die lehrreichen Resultate der beabsichtigten vergleichenden Probeheizungen in einer technischen Zeitschrift veröffentlichen.

*) Die Figuren 361 bis 364 sind dem Originalwerke von Péclet (Paris 1878) entnommen.

Die Wasseröfen desselben Stockwerks befinden sich gewöhnlich in einer und derselben Circulation, die mit dem Expansionsreservoir und dem unteren Theile des Kessels in Verbindung steht. Uebrigens können die Einrichtungen sehr verschiedenartig sein, wie in §. 267 an einigen schematischen Beispielen gezeigt werden soll.

§. 265.

Einrichtung der Apparate für die Hochdruck-Wasserheizung.

Die Einrichtung einer Hochdruck-Wasserheizung unterscheidet sich von jener der Niederdruck-Wasserheizung wesentlich dadurch, dass die Röhren viel enger sind (schmiedeeiserne Röhren von 25 oder 30 mm äusserem Durchmesser, auch etwas dicker, bei etwa halber Lichtweite); dass ferner kein Kessel vorhanden ist, sondern statt dessen ein Theil der Röhren, und zwar der fünfte, sechste oder siebente Theil der Röhrenlänge — je nach der Grösse des Wärmebedarfs für jeden Fall besonders zu berechnen — in Windungen auf einen kleinen Raum zusammengedrängt dem Feuer ausgesetzt wird; dass auch statt der eingeschalteten Warmwasseröfen nur Röhrenwindungen angewendet werden; dass endlich statt des offenen Expansionsreservoirs ein geschlossenes, mit Luft angefülltes Gefäss angebracht ist, welches zugleich als Sicherheitsapparat gegen das Bersten der Röhren dienen muss.

Der Engländer Perkins war der Erste, welcher die Hochdruck-Wasserheizung ausführen liess. Man nennt desshalb diese Heizmethode auch Perkins'sche Heizung und die dabei angewendeten engen schmiedeeisernen Röhren auch Perkins-Röhren.

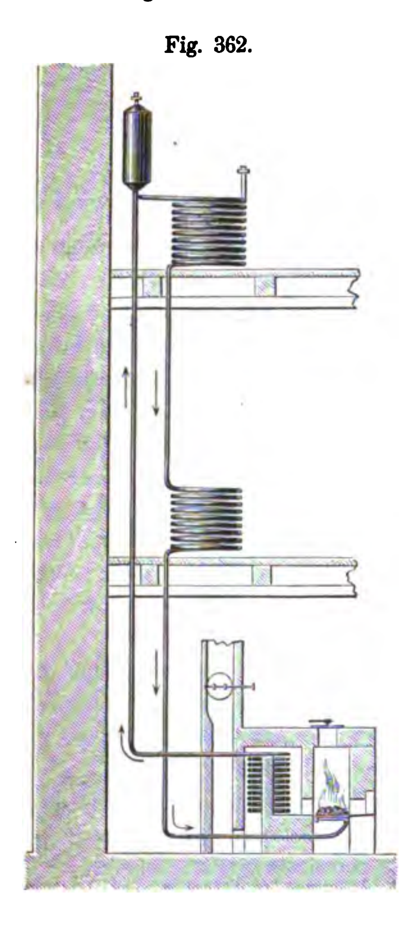
Man kann nach der Erfahrung annehmen, dass bei einer solchen Hochdruck-Wasserheizung in der Regel die Temperatur, mit welcher das circulirende Wasser in die ersten zu heizenden Räume gelangt, 150° C. oder höher, oft viel höher ist, und die Temperatur am unteren Ende der Rückleitung 50 bis 70° C.

In Fig. 362 ist eine sehr einfache Einrichtung einer Perkins-Heizung dargestellt*). Das Röhrensystem ist vollständig geschlossen. Eine Anzahl Röhrenwindungen liegt im Ofen, bildet die Ofenschlange (auch Ofenspirale, Feuerschlange genannt), die andern Windungen sind als Heiz-

*) Die Péclet'sche Original-Figur habe ich, gleich Ferrini, etwas abgeändert. Bei Péclet ist die Rückleitung an den oberen Theil der Ofenschlange angeschlossen und die Steigröhre ist vom Feuerungsroste ab ersichtlich. Dieses beruht vermuthlich auf einem Versehen.

schlangen (Wärmespiralen) in den Zimmern angebracht. Ueber der Steigröhre befindet sich das geschlossene Expansionsgefäss; daneben ist über der Heizschlange ein zweites Röhrenende sichtbar, welches geschlossen ist, aber geöffnet werden kann, um beim Füllen des Apparates mit Wasser die Luft entweichen zu lassen. Das heisse Wasser kann, nachdem es am höchsten Punkte der Circulation angelangt ist, in mehreren Strömen vertheilt, wie bei der Niederdruck-Wasserheizung abwärts geführt werden und mehrere Heizschlangen zugleich erhitzen.

Fig. 362.



Das Expansionsgefäss ist hier eine weite Röhre und soll

Fig. 363.



Fig. 364.

einen Rauminhalt von wenigstens 0,3 des gesammten Röhrenvolumens haben. Die Oeffnungen des Expansionsgefässes und der Luftröhre werden durch Vorrichtungen, wie in Fig. 363 und 364 angegeben, geschlossen. Erstere Vorrichtung dient zum unmittelbaren *Schluss an einem Röhrenende*. Die Röhre ist mit einem Schraubengewinde versehen, und das Ende ist zugeschärft; darüber wird eine Mutter mit ebenem Boden fest geschraubt. Dabei dringt die ringförmige Schneide in die ebene Fläche tief genug ein, um eine dichte Fuge zu bilden. Die

andere Vorrichtung ist ein Mittel zum Schluss einer Oeffnung in einem eisernen Gefäss mit flacher Oberfläche. Der untere Theil des Schraubenkopfes bildet einen zugeschärften Rand, welcher bei scharfem Anziehen der Schraube sich fest an die Platte presst.

Aehnlich sind die für die gegenseitige Verbindung der Heisswasserröhren dienenden Vorrichtungen; es sind dieselben, welche bereits für die Verbindung von Dampfröhren angegeben worden sind (Fig. 335 und 336).

Die Füllung des Apparates für die Hochdruck-Wasserheizung soll nicht einfach dadurch geschehen, dass man bei geöffneter Luftröhre Wasser in das Expansionsgefäss giesst; denn bei dem kleinen Röhrendurchmesser würde Luft im Apparate zurückbleiben können, was Hemmung des Betriebs und Unfälle im Gefolge haben würde. Man bewerkstelligt die Füllung am besten durch eine Druckpumpe, welche auch zur Prüfung des Apparates unter einem Druck von 200 Atmosphären dient. Das Wasser wird längere Zeit durch die Expansions- oder Luftröhre eingepresst und strömt durch die andere nicht geschlossene Oeffnung aus. Von Zeit zu Zeit muss etwas Wasser durch die Expansionsröhre nachgefüllt werden. Es ist eine eigenthümliche Erscheinung, dass ungeachtet der grössten Sorgfalt, welche bei Anfertigung und Füllung der Apparate angewendet wird, und ungeachtet der unter verhältnissmässig sehr hohem Druck vorgenommenen Proben, dennoch ein Wasserverlust stattfindet, welcher nach Perkins' eignen Angaben bei grossen Apparaten in 8 bis 10 Tagen etwa $^1/_2$ Liter Wasser beträgt. Da man keine Undichtigkeit auffindet, ist nicht wahrnehmbar, wodurch dieser Verlust entsteht.

Die Entwickelung der Röhren ist nach Péclet niemals über 200 m, gewöhnlich zwischen 150 und 200 m, damit eine zweckmässige Circulation erreicht werden kann, wenigstens wenn der Apparat nicht viele Verzweigungen und keine bedeutende Höhe hat.

Nach demselben Autor beträgt bei den in England vorhandenen Apparaten die Temperatur der Röhren im oberen Theil der Circulation gewöhnlich 150 bis 200° C., während sie am unteren Theil des niedergehenden Stromes in der Nähe des Ofens 60 bis 70° C. beträgt. Diese Temperaturen entsprechen keiner höheren Spannung als 5 bis 15 Atmosphären oder einem Ueberdruck von 4 bis 14 Atmosphären. Wenn aber die Röhren im Ofen bis zur Rothgluth erhitzt werden, kann der innere Druck viel grösser werden. Erreicht das Wasser die Temperatur der dunklen Rothglühhitze, welche etwa 500° C. ist, so würde der innere Druck über 500 Atmosphären steigen.

Daraus folgt, dass es nothwendig ist, dem Wasser eine entsprechende Ausdehnung zu gestatten; desshalb soll das Expansionsgefäss Luft enthalten, welche bei der Ausdehnung des Wassers in einen kleineren Raum zusammengepresst wird, wobei die eingeschlossene Luft zwar eine der Volumenverminderung entsprechende höhere Spannung annimmt, aber keinen absoluten Widerstand gegen die Ausdehnung des Wassers bietet.

Man hat zuweilen das mit Luft gefüllte Expansionsgefäss bei hermetischem Schlusse des Röhrensystems durch ein Sicherheitsventil zu ersetzen gesucht, um zu verhindern, dass der Druck eine gewisse Grenze überschreite. Diese Einrichtung kann als eine Verbesserung nicht gelten. Das Sicherheitsventil befindet sich am obersten Theil des Systems, also in grosser Entfernung von dem gewöhnlichen Aufenthaltsorte des Heizers; das Spiel des Ventils wird folglich nicht überwacht, es kann festsitzen, wenn es längere Zeit nicht gehoben war. Auch kann der Heizer die Ventilbelastung vergrössern und die Heizung über Zulässigkeit verstärken, um eine Dienstesvernachlässigung zu verbergen. Unter solchen Umständen erfolgt leicht das Bersten der Ofenschlange.

§. 266.

Einrichtung der Apparate für die Mitteldruck-Wasserheizung.

Die Einrichtung ist im Wesentlichen die nämliche wie bei der Hochdruck-Wasserheizung. Ein Theil der Röhren wird als Ofenschlange dem Feuer ausgesetzt und diesem Theile will man ein solches Verhältniss zu der Gesammtlänge geben, dass selbst bei stärkster Feuerung die Temperatur des Wassers in der Ofenschlange auf höchstens 130° C. kommen soll, also auf eine Spannung von etwa $2\frac{1}{2}$ Atmosphären.

Da die Möglichkeit nicht ausgeschlossen ist, dass der Druck 4 Atmosphären übersteigt, ist es nicht rathsam, gusseiserne Röhren anzuwenden. Die gezogenen Röhren von Schmiedeeisen können jedoch grösseren Durchmesser und geringere Wandstärke haben als bei der Hochdruck-Wasserheizung. Man wendet meistens solche Röhren von 22 bis 23 mm Lichtweite und 34 bis 35 mm äusserem Durchmesser an, jedoch auch weitere.

Es ist üblich, von der Ofenschlange aus die Leitung zuerst möglichst vertical in die Höhe steigen zu lassen, in entsprechenden Verlängerungen und Windungen durch die zu heizenden Räume zu führen und alsdann wieder in die Ofenschlange zurückgelangen zu lassen.

Diese Einrichtung ist nicht immer die vortheilhafteste; es können die Richtungen der steigenden und fallenden Leitungstheile ebenso wie

bei der Niederdruck-Wasserheizung angegeben, auch bei der Hochdruck- und Mitteldruck-Wasserheizung anders gewählt werden und oft ist solche Abweichung von der alten Regel schon aus dem Grunde zweckmässig, weil dadurch Wassersäcke, welche beim Ablassen Unbequemlichkeiten veranlassen, leichter vermieden werden.

Der Ofen mit der Feuerschlange wird gewöhnlich im Kellergeschoss angebracht, kann jedoch auch in gleichem Horizont mit den zu heizenden Räumen, etwa in der Küche angebracht werden.

Die bei der Dampfheizung aufgeführten Register und Rippenröhren können auch hier in Anwendung kommen.

Es wird kaum nöthig sein, daran zu erinnern, dass man bei der Wasserheizung eines jeden Systems wie bei der Dampfheizung diejenigen Theile der Leitung, welche nicht zur Erwärmung eines Raumes dienen sollen, möglichst gut gegen Wärmeverluste verwahrt, und dass man wie bei anderen Heizröhren die möglichen Wirkungen der Längenveränderungen der Röhren in Folge der Heizung und Abkühlung in Erwägung ziehen muss.

§. 267.

Schematische Darstellungen von Wasserheizungs-Einrichtungen.

Die Darstellungen beziehen sich zunächst auf die Niederdruck-Wasserheizung, doch ist die Anwendung auf Mitteldruck- oder Hochdruck-Wasserheizung statthaft, wenn man statt des Kessels eine Ofenschlange, statt der Wasseröfen Heizschlangen und statt des offenen Expansionsgefässes oder Reservoirs die geschlossene Expansionsröhre anbringt.

I. Einrichtungen für Räume eines Stockwerks.

Fig. 365. Das warme Wasser steigt vom Kessel aus direct in das Expansionsreservoir empor, und wird von da mit etwas Gefälle entweder im Fussboden selbst, oder in oder an den Sockeln umhergeführt. Die Druckhöhe ist hierbei sehr gering, wesshalb es zweckmässig ist, den Kessel möglichst tief anzubringen. Das Reservoir sehr hoch zu legen, hat bei gleicher Röhrenlage keinen Nutzen, weil die beiden Wassersäulen über der Horizontalleitung fast genau gleiche Temperatur haben; die Verlängerung des Röhrensystems in solcher Weise würde nur den Reibungswiderstand vermehren. Die Luft kann hierbei durch das Reservoir entweichen und das Wasser kann vollständig unten am tiefsten Punkte der Leitung abgelassen werden.

Fig. 366. Hier sind Wasseröfen in die Leitung eingeschaltet. Das Wasser gelangt in jeden folgenden Ofen mit geringerer Temperatur, wesshalb bei gleichem Wärmebedarf die Oefen in den letzten Räumen

Fig. 365.

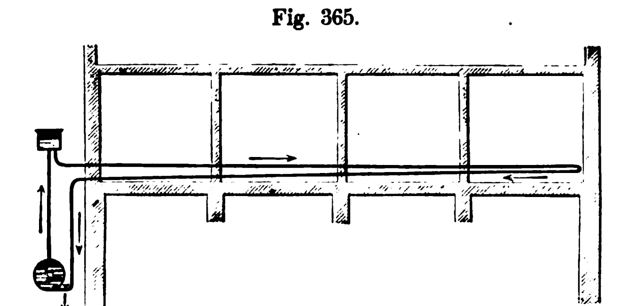
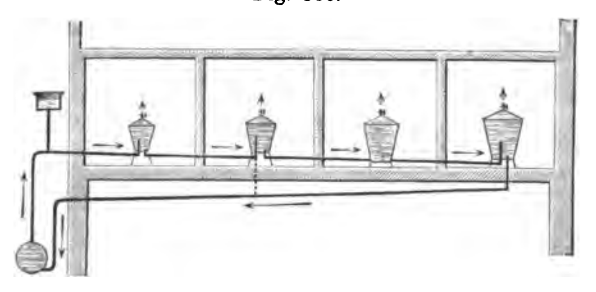


Fig. 366.



grösser sein müssen als in den ersten. Das Füllen mit Wasser ist insofern etwas umständlich, als an der Decke eines jeden Ofens ein Lufthahn zu öffnen und, sobald sich Wasser zeigt, zu schliessen ist. Das Wasser kann vollständig unten nur abgelassen werden, wenn, wie bei dem dritten Ofen angedeutet ist, die beiden Röhren ohne Aufbiegung am Boden des Ofens münden, oder wenn, wie am zweiten Ofen angedeutet, jeder aufgebogene Theil oder der tiefste Punkt jeder Zwischenleitung mit der Rückleitung verbunden ist. Man kann ein einzelnes Zimmer bei dieser Einrichtung nicht heizen oder von der Heizung ausschliessen.

Fig. 367. Jeder Ofen erhält das warme Wasser direct von der Hauptleitung und das kältere Wasser wird direct der Rückleitung zugeführt. Hierbei kann jeder Ofen von der Heizung ausgeschlossen werden. Das Expansionsgefäss ist unabhängig von der Warmwasserleitung angebracht und mit dem unteren Raume des Kessels verbunden,

damit nicht nutzloser Weise heisses Wasser in dasselbe aufsteigt. In dieser Hinsicht wäre die Verbindung mit der Rückleitung, wie punktirt angedeutet ist, noch vorzuziehen.

Fig. 367.

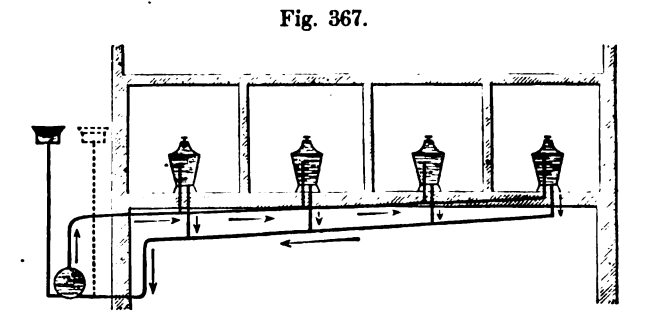


Fig. 368. Durch Zuleitung des warmen Wassers an dem obersten Theile eines jeden Ofens ist den beiden vorigen Fällen gegenüber die Füllung mit Wasser bequemer gemacht. Auch entweicht das Wasser mehr abgekühlt aus den Oefen, weil der Mischung des warmen Wassers mit kälterem möglichst vorgebeugt ist.

Fig. 368.

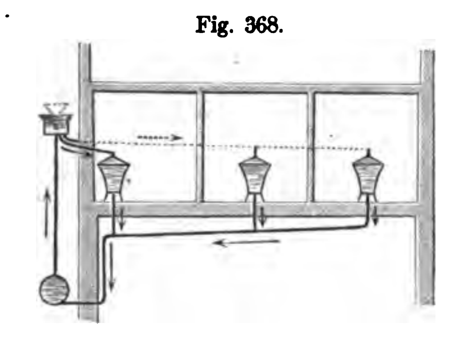


Fig. 369.

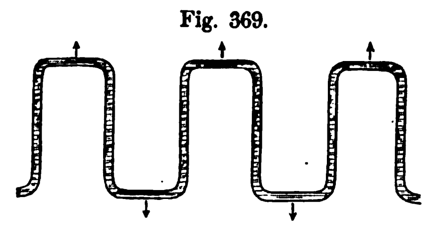


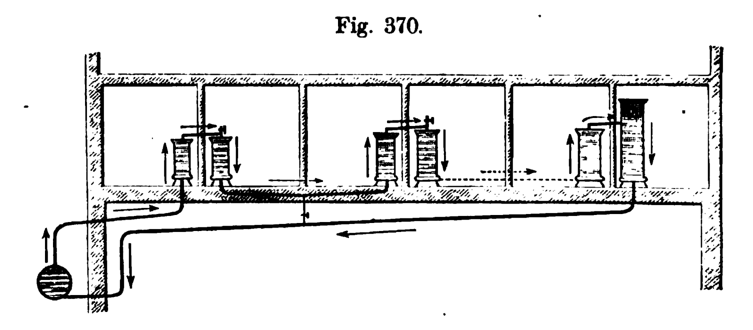
Fig. 369. Wird die Leitung auf- und niedergehend gemacht, so müssen durch Hähne an den höchsten Punkten die Luftsäcke und durch Hähne an den tiefsten Punkten die Wassersäcke entleert werden können. Schinz*) nennt diese Disposition eine fehlerhafte, weil dabei offenbar das Wasser nur durch eine sehr hohe Säule aus den so gebildeten Hebern herausgedrückt werden könnte, und der Erfolg wäre, dass das Wasser in den diesen Hebern vorangehenden Gefässen eine viel höhere Temperatur annehmen müsste, wodurch eine gleich-

*) Schinz, Wärmemesskunst, S. 326.

mässige Vertheilung der Wärme vereitelt würde. Dieses ist unbegründet. Es sind ebenso viele aufsteigende wie absteigende Schenkel vorhanden und das Wasser in den absteigenden ist kälter, specifisch schwerer als in den vorhergehenden aufsteigenden. Aber sehr störend kann die Ansammlung von Luft (aus dem lufthaltigen Wasser) wirken, was nach §. 35 seine Erklärung findet.

Fig. 370 zeigt die Disposition von Fig. 369 mit eingeschalteten Wasseröfen, die für gleichen Wärmebedarf ungleich gross sein müssen.

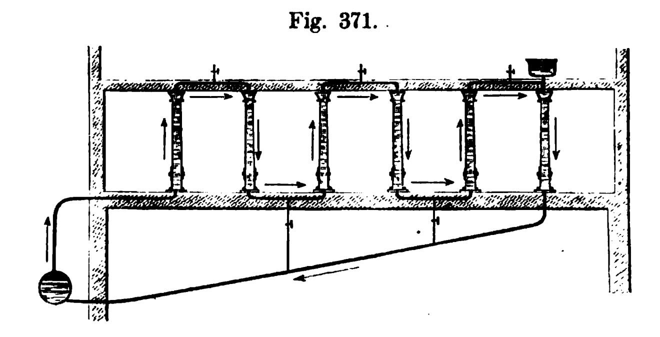
Fig. 370.



Der letzte Ofen ist höher und oben offen oder auch bedeckt und mit einer Oeffnung an der Deckplatte versehen, weil er zugleich die Stelle des Expansionsgefässes vertreten soll. Dass für diesen Zweck der letzte Ofen gewählt wird, ist zweckmässig, weil in diesem das Wasser am wenigsten warm, folglich die Verdampfung am geringsten ist.

Fig. 371 mag einen Saal vorstellen, in welchem gusseiserne Säulen

Fig. 371.



anstatt der Wasseröfen für den Heizzweck benützt sind. Ueber der letzten Säule ist das Expansionsgefäss angedeutet.

II. Einrichtungen für Räume in mehreren Stockwerken.

Fig. 372. Von dem Reservoir aus durchfliesst das warme Wasser vertheilt in so vielen Zweigleitungen, als Wasseröfen in einem Stockwerk vorhanden sind, die Oefen von oben nach unten; die unteren Oefen müssen für gleichen Wärmebedarf grösser sein. Füllung und Entleerung und Austreibung der Luft geschieht auf einfachste Weise, aber es müssen die über einander liegenden Zimmer einer Zweigleitung zugleich geheizt werden.

Fig. 372.

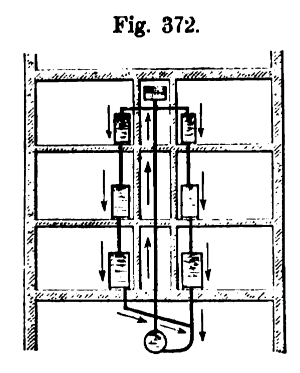
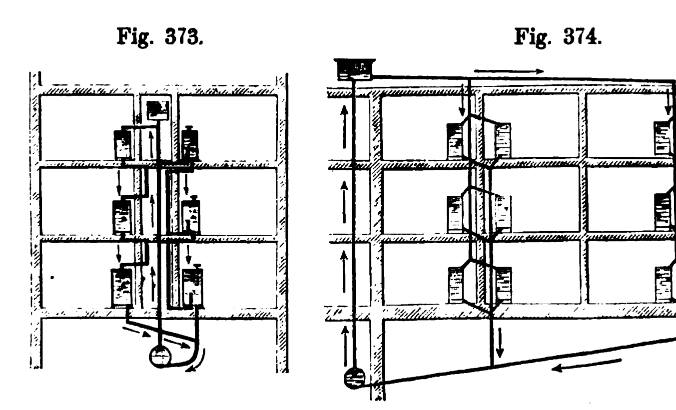


Fig. 373. Der vorigen Einrichtung im Wesentlichen ähnlich, jedoch mit Vermeidung der langen verticalen Röhren in den Zimmern; wegen nothwendiger Ablassung der Luft an den Ofendeckeln ist die Anordnung auf der rechten Seite weniger praktisch.

Fig. 374. Das warme Wasser gelangt ohne grosse Temperaturverschiedenheit direct in sämmtliche Oefen, und ebenso ist der Abfluss

Fig. 373. Fig. 374.

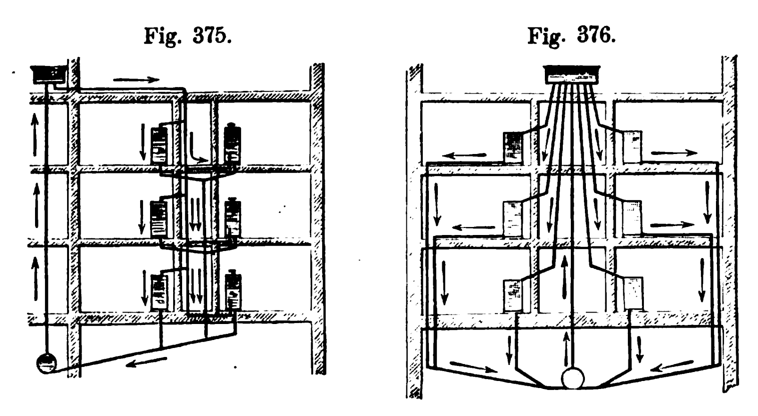


bei einem jeden von der Benützung der übrigen unabhängig; es kann also jeder Ofen einzeln abgesperrt werden.

Fig. 375. Principiell dieselbe Disposition wie Fig. 374, formell verändert durch die anderen Localverhältnisse. Bei der rechtseitigen Anordnung wird die Austreibung der Luft an den Ofendeckeln nothwendig.

Fig. 376. Erreichung des gleichen Zwecks mit einer grösseren Zahl von Röhren, welche vom Expansionsreservoir ausgehen. Diese Einrichtung ist nicht so unökonomisch wie es scheinen könnte; denn

Fig. 375. Fig. 376.



unter Umständen lassen sich die Röhren selbst gut als Heizkörper benützen.

Die Ausschaltung einzelner Zimmer aus dem Heizungssystem ist nicht immer von Wichtigkeit. Für die Voraussetzung, dass sämmtliche Räume gleichzeitig geheizt werden müssen, mögen noch die oben untersuchten drei Systeme für die gleichen Räume zusammengestellt werden. Das Expansionsgefäss mag dabei durch einen grösseren oberen Ofen ersetzt werden.

Fig. 377. Das warme Wasser wird bis zum obersten Ofen emporgeleitet und gelangt von einem Ofen zum andern allmählich herab. Die Wasserentleerung kann, wenn Aufbiegungen vermieden werden, vollständig am tiefsten Punkte geschehen; an einzelnen Oefen ist die mehrerwähnte Luftaustreibung nöthig.

Fig. 377. Fig. 378.

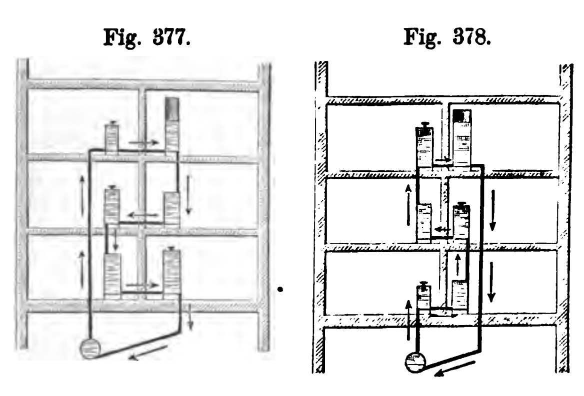


Fig. 378. Die umgekehrte Einrichtung von 377. Das warme Wasser kommt allmählich von einem Ofen zum andern empor, das kältere direct von

einem der obersten Oefen an den Boden des Kessels herab. In Betreff der Entleerung und Luftaustreibung gilt das Nämliche.

Fig. 379.

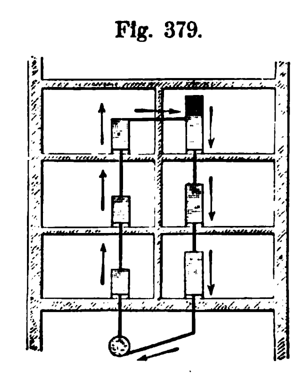


Fig. 380.

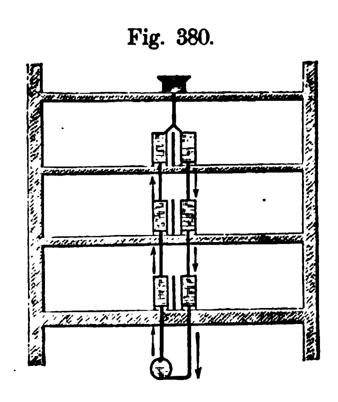


Fig. 381.

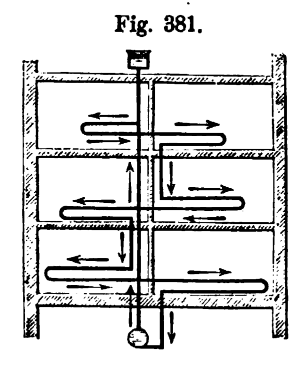


Fig. 379. Das warme Wasser fliesst durch die Oefen der einen Seite empor, durch die der anderen Seite herab. Die Einrichtung ist einfach und gut. (Vergl. §. 264.)

Fig. 380. Man könnte das letzte System auf die Heizung mehrerer über einander liegender Säle anwenden, wenn je zwei Oefen in einem Saale anzubringen wären (oder mit Anwendung mehrerer Circulationen je 4 Oefen oder 6 oder 8 u. s. w.). Da in diesem Falle je ein Ofen des Vorlaufs neben einem Ofen des Rücklaufs steht, können die Oefen für gleichen Wärmebedarf in jedem Saale gleich gross sein. Kommen sie nahe an einander zu stehen, so werden zweckmässig Strahlenfangbleche zwischen ihnen angebracht.

Fig. 382.

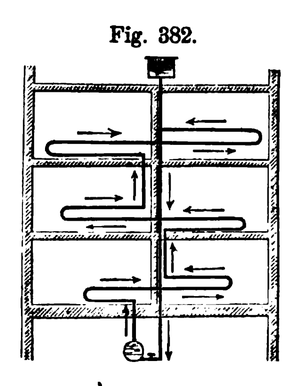
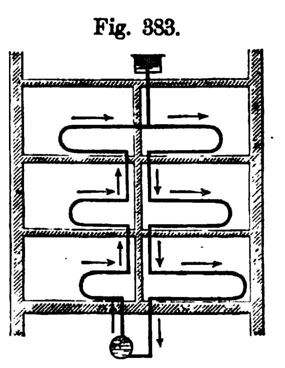


Fig. 383.



Die Figuren 381, 382, 383 lassen erkennen, dass bei Anwendung von Röhrenwindungen, wie bei der

Hochdruck- und Mitteldruck-Wasserheizung, die zweckmässige tiefe Lage der Wärmeröhren ohne Bildung von Wassersäcken nur bei dem zuletzt dargestellten Systeme möglich ist, während bei dem vorigen und auch bei dem ersten gebräuchlichen Systeme die Wassersäcke nur durch unzweckmässige höhere Lage der Windungen in einem der beiden Räume eines Stockwerks zu vermeiden sind. Diese drei Systeme sind bereits in §. 264 ausführlicher besprochen.

§. 268.

Verhütung des Einfrierens der Wasserheizungs-Apparate.

Das Einfrieren von Wasserheizungs-Apparaten kommt um so leichter vor, je geringer das im Apparate befindliche Wasserquantum ist, also am leichtesten bei den Hochdruck- oder Heisswasserheizungen, nicht leicht bei den Wasserheizungen mit Niederdruck, den Warmwasserheizungen. Doch kommt es auch bei diesen mitunter vor, so bei Schulen, indem namentlich während der Weihnachtsferien, in welcher Zeit es in der Regel besonders kalt ist, viele Tage nach einander nicht geheizt wird.

Sicheren Schutz gegen das Einfrieren gewährt die Füllung mit einer Flüssigkeit, deren Gefrierpunkt sehr tief liegt. Die Flüssigkeit muss ferner so beschaffen sein, dass sie den Effect der Anlage nicht vermindert, sich nicht leicht verflüchtigt, die Bestandtheile des Apparates nicht beschädigt und durch die Zeit an ihrer Wirksamkeit nichts verliert; sie muss auch billig und beim Gebrauche gefahrlos sein.

In neuester Zeit werden einige Mittel empfohlen, welche angeblich den Anforderungen entsprechen, so von Ingenieur C. Voigt in Schwerin, welcher mittheilt: *)

„Das Einfrieren von Wasserheizanlagen lässt sich für Temperaturen bis — 15° C. leicht dadurch beheben, dass man als Füllung eine Lösung von Chlorcalcium in Wasser anwendet. Es haben sich Uebelstände beim Gebrauch desselben während des verflossenen Jahres nicht gezeigt. Der Siedepunkt einer Lösung von 25° Beaumé, welche für eine Kälte bis 15° C. ausreicht, liegt wenig über 100° und es bleibt die Circulation in den Röhren dieselbe wie bei reinem Wasser. Ein Zusatz von Glycerin erhöht zwar die Frostbeständigkeit erheblich, doch findet eine Zersetzung des Glycerins bei Circulationsstockungen in ge-

*) Deutsche Bauzeitung. 1880, Nr. 6.

schlossenen Heizungen, bei denen die Temperatur der Röhren bis 200° und darüber steigt, statt und lässt Explosion und Feuersgefahr befürchten. Für Heizungen, die dem Einfrieren weniger ausgesetzt sind, genügt eine Chlorcalciumlauge von 15° Beaumé, die das Einfrieren bis — 8° C. verhindert."

Ueber eine andere Füllmasse, Tektrion genannt, liest man Folgendes:*)

„Ingenieur J. Corvin in Magdeburg hat sich die Anwendung einer 12- bis 14procentigen Lösung von Chlormagnesium, welche von einem Chlorcalciumgehalt nicht frei zu sein braucht, in Deutschland patentiren lassen. Die Stassfurter chemische Fabrik bringt diese Masse unter dem Namen „Tektrion" in den Handel und zwar zum Preise von 60 Pf. ab Stassfurt pro kg Lösung von 30° Beaumé incl. Fass. Beim Gebrauch muss diese Lösung auf 1 Raumtheil mit 2 bis 3 Raumtheilen Wasser verdünnt werden. Vor der bisher üblichen Wasserfüllung soll die neue Füllmasse die Vorzüge haben, dass der Inhalt der Wasserheizungen auch bei strengster Winterkälte nicht gefriert, also keine Störung der Heizung eintreten kann; dass dieselbe nur schwer verdunstet und ein Nachfüllen und Wiederdurchpumpen also kaum nöthig wird; dass weiter der Siedpunkt derselben wesentlich höher liegt als der des Wassers, wesshalb auch ohne hohe Spannung in den Apparaten bedeutend höhere Wärme übertragen werden kann als durch Wasser, und dass endlich ganz bedeutend an Brennmaterial gespart wird. Während mit Wasser gefüllte Heizapparate bei Winterkälte ununterbrochen geheizt werden müssen, um das Zufrieren derselben zu vermeiden, ist dieses bei der Tektrion-Füllung nicht nöthig. Als Vortheile der neuen Füllmasse werden ausser dem billigen Preise noch hervorgehoben, dass sie nicht an den feuerberührten Flächen aufbrennt, dass die bei Heizanlagen zur Verwendung kommenden Metalle nicht angegriffen werden und dass die Wirksamkeit auch nach langem Gebrauche nicht herabgemindert wird."

Ferner wird von David Grove in Berlin als Schutz gegen Einwirkung des Frostes bei Wasserheizungsanlagen W. Stainton's patentirte chemische Lösung empfohlen, welche den Einwirkungen des Frostes bis zu einer Temperatur von — 20° C. absolut widerstehen, die bei der Heizanlage zur Verwendung kommenden Metalle nicht angreifen und an ihrer Wirksamkeit niemals verlieren soll. Die chemische Zusammensetzung dieses Schutzmittels ist nicht bekannt gegeben.

---

*) Der Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur. 1880, Nr. 2.

Die Gasheizung.

§. 269.

Allgemeines über die Gasheizung.

Die Gasheizung oder Gasfeuerung bildet gegenwärtig vielfach den Gegenstand praktischer Versuche und wissenschaftlicher Discussionen in Rücksicht auf industrielle Anwendungen. Darauf einzugehen liegt ausser dem Zwecke dieses Buches. Hier ist dieser Gegenstand nur in Rücksicht auf häusliche Beheizungszwecke zu behandeln.

Bekanntlich werden unsere Zimmer an langen Winterabenden bei Benützung der Gasbeleuchtung oft in sehr bemerklichem Grade durch Gas erwärmt. Nicht selten kommt es vor, dass in Zimmern, welche durch die Tagesheizung kaum genügend erwärmt werden konnten, am Abend, obgleich die Aussentemperatur bedeutend gesunken ist, die Innentemperatur sogar lästig hoch wird, und zwar ohne dass die Anzahl der sich daselbst aufhaltenden Personen sich vergrössert hat. Man hilft auch bei sehr strenger Kälte durch Anzünden der Gasflammen am Tage zuweilen der Heizung nach, was freilich bei richtig angeordneten Heizungsapparaten nicht vorkommen dürfte.

Wird nach S. 543 angenommen, dass eine gewöhnliche Gasflamme in der Stunde 100 Liter Gas consumirt, und dass der erzielte Wärmeeffect von einem Liter Gas bei solcher Verbrennung rund 6 Calorien ist, so erhält man von einer Gasflamme stündlich

$$100 \, . \, 6 = 600 \text{ Calorien,}$$

wodurch

$$\frac{600}{0,3} = 2000 \text{ cbm}$$

Luft von 0° auf 1° C. oder 100 cbm Luft von 0 auf 20° erwärmt werden könnten, so dass also die Hitze in einem nicht ventilirten Zimmer schon bei einer einzigen Gasflamme alsbald unerträglich sein würde, wenn nicht sehr bedeutende Wärmeverluste durch Transmission stattfänden.

Um die gleiche Erwärmung durch eine Steinkohlenfeuerung zu erreichen, müsste man in einem sehr guten Ofen ungefähr $^1/_{10}$ kg Steinkohlen vorzüglicher Qualität verbrennen. Danach ist ein Gasquantum von 1 cbm oder 1000 Liter an Heizkraft äquivalent mit 1 kg Steinkohlen. Nun kostet (an hiesigem Platze) 1 cbm Gas 18 Pfennig und 1 kg bester Steinkohlen nur 2 Pfennig. Das Verhältniss der Erwärmungskosten wäre also:

18 : 2 = 9 : 1.

Wäre der Ofen so schlecht oder die Behandlung desselben so verkehrt, dass mit der Steinkohlenfeuerung nur der dritte Theil des obigen Heizeffects erzielt würde, so wäre immer noch das Verhältniss der Kosten der durch das Leuchtgas erzeugten Wärme zu der mittels der Ofenheizung hervorgebrachten:

18 : 6 = 3 : 1.

Hieraus ist schon zu entnehmen, dass, wenn auch bei rationeller Einrichtung der Gasheizapparate ein für die Gasheizung günstigeres Resultat sich ergibt, die Gasheizung doch noch zu grossen Kostenaufwand bedingt, um eine weit verbreitete Anwendung zu finden. Aus diesem Grunde mögen hier die folgenden kurzen Mittheilungen genügen.

Als weiteres Hinderniss allgemeinerer Anwendung von Gasheizapparaten wird auch die Möglichkeit von Explosionen bezeichnet, welche bei Vernachlässigung des Schliessens der Hähne oder bei undicht gewordenen Leitungsröhren leicht vorkommen können. Allein dieses Hinderniss würde auch bei der Gasbeleuchtung bestehen, deren Anwendung doch eine fast allgemeine ist.

§. 270.

Einrichtung der Gasheizungs-Apparate.

Für die Anwendung des Leuchtgases als Heizmaterial ist zu berücksichtigen, dass Leuchten und Hitzegeben zwei verschiedene Ziele sind, welche sich nicht gleichzeitig in vollem Masse erreichen lassen; dass man, um den grössten Heizeffect zu erlangen, auf das Leuchten verzichten muss.

Bei jeder gewöhnlichen Flamme geht die Verbrennung äusserlich am lebhaftesten vor sich, und eben desshalb hat die äusserste Hülle der Flamme keine Leuchtkraft, das Licht geht vom inneren Theile der Flamme aus, zu welchem der Luftsauerstoff weniger direct gelangt, wo also die Verbrennung einen langsameren Verlauf nimmt. Hier trennen sich in Folge der Einwirkung der in der Flamme erzeugten Hitze die Kohlenstofftheilchen vom Wasserstoff und gerathen momentan ins Weissglühen, bis sie am oberen Ende der Flamme den zu ihrer Verbrennung nöthigen Sauerstoff finden. Gerade diese glühenden Kohlentheilchen sind das eigentlich Leuchtende der Flamme. (Vergl. §. 172.) Man überzeugt sich von der Anwesenheit solcher Kohlentheilchen am einfach-

sten dadurch, dass man einen kalten Körper in die Flamme hält; er bedeckt sich sofort mit Russ.

Vermindert man den zur Verbrennung der Kohlentheilchen nöthigen Luftzufluss, so beginnt die Flamme zu russen, weil dann ein Theil der Kohlentheilchen unverbrannt bleibt und an der Spitze der Flamme als Rauch emporsteigt. Wird dagegen der Luftzutritt zur Flamme verstärkt, oder wird das brennbare Gas, bevor man es entzündet, schon mit Luft gemengt, so wird die Flamme blass und durchsichtig, indem sich dann die Kohlentheilchen nicht glühend darin erhalten, sondern sogleich zu Kohlensäure verbrennen. Dabei wird eine intensivere Hitze entwickelt, da nun alles Brennbare auf einmal verbrennt.

Darauf beruhen die Einrichtungen für Benützung des Leuchtgases als Heizmaterial. Die Brenner für Heizzwecke müssen so construirt sein, dass sich das Gas erst in gewissem Mengenverhältniss mit Luft mischt, bevor es sich entzündet. So gewährt die Gasfeuerung eine rauchlose, sehr vollkommene und vollständige Verbrennung, sehr intensive Hitze und einen constanten regulirbaren Effect.

Ein ziemlich einfacher Apparat besteht aus einer Anzahl von Bunsen'schen Brennern in folgender Anwendung. Auf einer mit der Gasleitung verbundenen horizontalen ringförmig gebogenen Röhre sind oben viele enge kurze Röhrchen angebracht, aus welchen das Gas ausströmt. Es wird jedoch an diesen Oeffnungen nicht angezündet, sondern die Brenner befinden sich an den oberen conischen Enden höherer weiterer Röhren, welche über die engen Röhrchen gestülpt sind und das Aussehen von Kerzen bieten. Diese kerzenförmigen Röhren haben in der unteren Hälfte, etwas über den Mündungen der inneren engen Röhrchen, zwei gegenüber liegende Oeffnungen für die Lufteinströmung, bilden also Mischräume für Gas und Luft, welches Gemisch oben ausströmt, woselbst es entzündet wird. Das Querschnittsverhältniss für das Einströmen des Gases und der Luft in den Mischraum muss mit grösster Sorgfalt bestimmt werden, weil sonst die Verbrennung eine schlechte ist. Man kann desshalb auch nicht mittels des Gashahns an der Zuleitung durch verminderten Gaszufluss die Erhitzung in zweckmässigster Weise mässigen, wohl aber durch gänzlichen Abschluss einzelner Gasröhrchen, also durch Benützung einer geringeren Flammenzahl.

Ein Mangel fast aller Gasheizungs-Apparate ist der, dass die Verbrennungsgase in den Zimmern sich vertheilen; es muss also dabei ganz besonders für ausgiebige Lufterneuerung durch andere Einrichtungen gesorgt werden.

Die grössten Verdienste um die Construction von Gasheizungs-Apparaten für häusliche Zwecke hat sich der Ingenieur R. W. Elsner in Berlin erworben. Seine Apparate sind seit vielen Jahren mit besten Erfolgen in Anwendung.

Achter Abschnitt.

Verschiedene Anwendungen und Ergänzungen.

---

§. 271.

Combinirte Heizungs- und Ventilations-Einrichtungen.

I. Die Wolpert'sche Luftofenheizung.*)

Die in den Figuren 384, 385 und 386 angedeutete Luftofenheizung ist eine Combination der Stubenofenheizung mit der Circulations- und Ventilations-Luftheizung. Sie hat mit der Stubenofenheizung die Wärmestrahlung gemein, die jedoch hier eine sehr milde, angenehme ist, mit der Luftheizung die Zuführung der in einer Heizkammer auf hohe Temperatur erwärmten Luft.

Die Heizkammer ist in den Figuren nicht angegeben; sie ist in einem tieferen Horizont als der Ofen zu denken und soll, wie bei der Ventilations-Luftheizung, mit einem Kanal für Zuleitung frischer Luft versehen sein.

Das Princip dieser Einrichtung ist folgendes: die in der Heizkammer wie bei der Luftheizung erhitzte Luft wird durch einen Kanal, welcher von der Heizkammerdecke ausgeht, in den oberen Raum des Ofens emporgeführt. Vom unteren Theile des Ofens geht ein anderer Kanal bis zum Fussboden der Heizkammer hinab.

Sobald die Luft in der Heizkammer erhitzt wird, muss eine Circulation im ganzen oben geschlossenen System erfolgen, wobei der

*) Die in §. 271, unter I, II u. III zu erklärenden Heizmethoden sind zur Patentirung angemeldet und werden vom „Eisenwerk Kaiserslautern" ausgeführt.

Ofen durch die ihn von oben nach unten durchströmende heisse Luft erhitzt wird und eine beträchtliche Wärmemenge durch Strahlung und Luftberührung in das Zimmer emittirt. Diese Circulation der warmen Luft ist in der Zeichnung (Fig. 384) durch gefiederte Pfeile ange-

Fig. 384. Fig. 385.

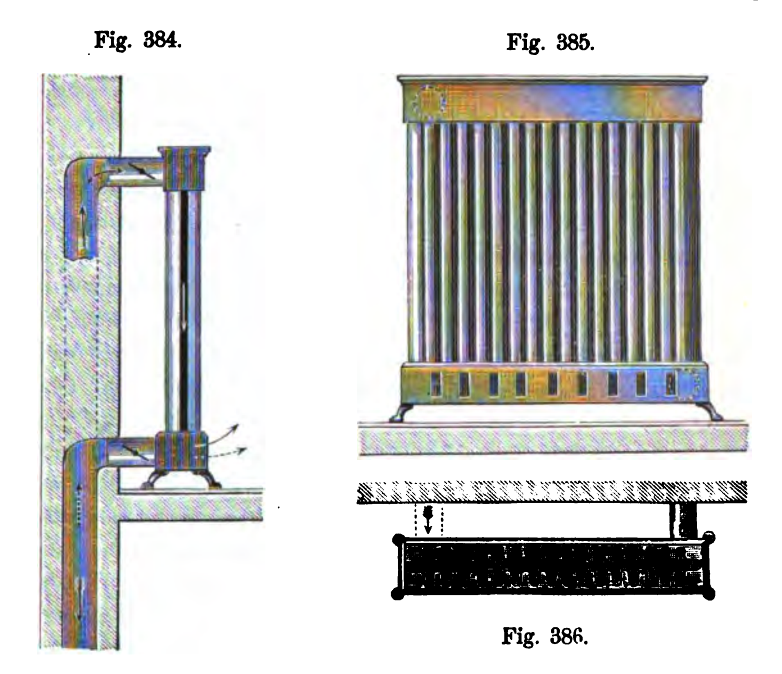


Fig. 386.

deutet. Vorausgesetzt, dass der Luftofen gut dicht ist, erfolgt dieser Vorgang in gleicher Weise, wenn der Kanal, welcher der Heizkammer frische Luft zuführt, offen, wie wenn er geschlossen ist; er mag also der grösseren Bequemlichkeit wegen beständig offen bleiben.

Wenn nicht nur geheizt, sondern zugleich mit warmer Luft ventilirt werden soll, wird eine Anzahl von Löchern im Sockel des Luftofens mittels eines gemeinsamen Schiebers geöffnet; dann strömt die reine warme Luft durch den Ofen abwärts und unten in das Zimmer, wie durch die ungefiederten ausgezogenen Pfeile angedeutet ist. Hierbei kann auch der andere Kanal, der Abflusskanal zur Heizkammer, offen bleiben; denn da der Ueberdruck von der Heizkammer nach dem Luftofen im wärmeren Kanale bedeutend grösser ist, und der durch diesen emporgelangende Luftstrom den Gesammtquerschnitt der kleinen Oeffnungen einnimmt — vorausgesetzt, dass diese nicht grösser sind — erfolgt im kälteren Kanale keine oder nur eine sehr geringe

Bewegung nach oben. Doch kann man ihn leicht mittels der in der unteren Ofenröhre angedeuteten Drosselklappe schliessen.

Lässt man diesen kälteren Circulationskanal offen und öffnet die Warmluftlöcher nur wenig, so erfolgt eine Abwärtsströmung im kälteren Kanal, also neben einiger Ventilation mit warmer Luft zugleich die Circulationsheizung des Luftofens.

Soll mit kühler Luft ventilirt werden, so schliesst man den Warmluftkanal durch die Drosselklappe in der oberen Ofenröhre, dann gelangt, wie durch die ungefiederten punktirten Pfeile angedeutet ist, durch den anderen Kanal die Luft vom Fussboden der Heizkammer, also fast gar nicht erwärmt, empor und tritt wie bei der Ventilation mit warmer Luft durch die Sockelöffnungen aus.

Die Zimmerluft lässt man bei der Ventilation durch einen über Dach geführten Wandkanal, welcher am Fussboden und in der Nähe der Decke des Zimmers eine Abflussöffnung hat, unten entweichen, so lange die unteren Zimmerschichten noch nicht warm genug sind, ausserdem oben.

Je nachdem man die beiden mit der Heizkammer in Verbindung stehenden Kanäle mehr oder weniger öffnet, was einfach mittels beider Drosselklappen am Luftofen geschieht, kann man auch mit gemischter kalter und warmer Luft ventiliren, also die Luft mit einer Temperatur einlassen, welche dem jeweiligen Bedürfniss am besten entspricht.

Wird die obere Klappe nur wenig geöffnet, dagegen die untere viel mehr, so erfolgt gute Erwärmung des Ofens, also Heizung durch Wärmestrahlen neben der Ventilation mit kühler Luft.

Man sieht, dass diese Einrichtung ausserordentlich schmiegsam ist und bei einfachster Behandlung jeder Anforderung in Bezug auf Heizung und Ventilation entspricht; sie wird bei rationeller Anlage der Heizkammer und der Kanäle kaum etwas zu wünschen übrig lassen, wenn der Luftofen gross genug ist. Es ist also zu untersuchen, welche Heizwirkung von einem solchen Luftofen von bestimmter Grösse zu erwarten ist, und wie seine Grösse in einem jeden speciellen Falle berechnet werden muss. Dabei ist vor Allem festzustellen, aus welchem Material der Luftofen ausgeführt werden soll, und wie dessen Oberflächen zu bilden sein werden.

Es wird zweckmässig sein, den Luftofen aus Wellblech anzufertigen, mit einem unteren und oberen Kasten von Gusseisen oder starkem Eisenblech. Das Blech wird zum Schutze gegen das Rosten und etwa auch des besseren Aussehens halber mit Cement oder Oelfarbe oder mit beiden Mitteln angestrichen.

Es handelt sich darum zu finden, wie gross die Wärmemenge sein wird, welche in einer Stunde bei 1° Temperaturunterschied der Ofenluft und Zimmerluft durch 1 qm Ofenfläche emittirt wird.

Wenn Redtenbacher den Wärmeübergangscoëfficienten aus Luft in Luft für Gusseisen $k = 14$ gefunden hat, für Eisenblech dagegen nur halb so gross (S. 584), so mag dieses im Hinblick auf die Tabelle S. 555 aus den Strahlungscoëfficienten in der Weise zu erklären sein, dass die Redtenbacher'schen Versuche vermuthlich einmal mit rauhem Gusseisen, das andere mal mit sehr blankem Eisenblech angestellt worden sind. Aus derselben Tabelle ist zu schliessen, dass der beiderseitige Anstrich mit Cement oder Oelfarbe die Wärmeüberführung mindestens auf den Werth für Gusseisen steigern wird. Nach den weiteren Mittheilungen in §. 195 darf der Coëfficient mit Rücksicht auf die vorwiegend verticalen röhrenähnlichen Heizflächen des Luftofens mit dem Werthe

$$k = 15$$

angenommen werden, wenn man dabei den Temperaturüberschuss der Ofenfläche über die mittlere Temperatur der Zimmerluft in Rechnung bringt. Zwar bestrahlen die seitlichen Wellentheile sich gegenseitig, wodurch die Ausstrahlung der Wärme nach dem Zimmer vermindert wird; allein um so höher bleibt dann die Temperatur der Ofenflächen für die Ausstrahlung an den übrigen Theilen und für die Wärmeabgabe durch Luftberührung.

Die mittlere Temperatur des Luftofens kann durch die Circulations- wie Ventilationsheizung leicht auf 60° C. erhalten werden, so dass die Wärmeabgabe von 1 qm Heizfläche an die Zimmerluft von der mittleren Temperatur 20° C., also bei einem Temperatur-Ueberschuss von 60 — 20 = 40° C. beträgt:

$$15 \,.\, 40 = 600 \text{ Calorien.}$$

Die Berechnung, wie gross ein solcher Luftofen für ein Zimmer sein soll, hat sich nur auf die Ausgleichung der durch Transmission entstehenden Wärmeverluste zu erstrecken, weil die Ventilationsluft unter allen Umständen reichlich warm geliefert werden kann, ja leicht und ohne Nachtheil mit einer höheren Temperatur als die ist, welche man im Zimmer zu haben wünscht, was jedoch hier nicht angenommen werden soll.

Wird die Summe der Transmissionsverluste mit W bezeichnet, so muss die Heizfläche des Luftofens sein:

$$F = \frac{W}{600} \text{ Quadratmeter.}$$

Nun sei die nothwendige Ofengrösse für ein Zimmer unter den ungünstigsten Temperatur-, Situations- und Transmissionsverhältnissen zu berechnen. Die Aussentemperatur sei — 20°, die mittlere Zimmertemperatur + 20° C. Das Zimmer sei 5 m breit, 6 m lang und $3\,{}^1/_3$ m hoch, also ein Raum von 100 cbm, und zwar ein kalt liegendes Eckzimmer mit 4 einfachen Fenstern von je 2 qm und zwei ebenso grossen Zimmerthüren. Die beiden inneren Mauern liegen gegen ungeheizte Räume von der Temperatur 0°, ebenso Fussboden und Decke. Wird noch angenommen, dass die Aussenmauer 0,6 m dick von Kalksteinen, die inneren 0,5 m dick von mittelharten Backsteinen ausgeführt sind, so ergeben sich in einer Stunde folgende Wärmeverluste.

Wärmeverlust A durch die Aussenmauern (Coëfficient 1,58 nach S. 580):

$$A = [(5 + 6) \,.\, 3{,}33 - 4 \,.\, 2] \,.\, 1{,}58 \,.\, 40 = 1809 \text{ Calorien.}$$

Wärmeverlust B durch die Innenmauern (Coëfficient 0,87 nach S. 580):

$$B = [(5 + 6)\ 3{,}33 - 2 \,.\, 2] \,.\, 0{,}87 \,.\, 20 = 568 \text{ Calorien.}$$

Wärmeverlust C durch die 4 Fenster (Coëfficient 4 nach S. 581):

$$C = 4 \,.\, 2 \,.\, 4 \,.\, 40 = 1280 \text{ Calorien.}$$

Wärmeverlust D durch die 2 Thüren (Coëfficient 1,5 nach S. 582):

$$D = 2 \,.\, 2 \,.\, 1{,}5 \,.\, 20 = 120 \text{ Calorien.}$$

Wärmeverlust E durch den Fussboden (Coëfficient 0,6 nach S. 582):

$$E = 5 \,.\, 6 \,.\, 0{,}6 \,.\, 20 = 360 \text{ Calorien.}$$

Wärmeverlust F durch die Decke (Coëfficient 0,7 nach S. 582):

$$F = 5 \,.\, 6 \,.\, 0{,}7 \,.\, 20 = 420 \text{ Calorien.}$$

Die Zimmertemperatur wird zwar an der Decke höher, am Fussboden niedriger sein als 20° C., doch gleichen sich diese Verschiedenheiten im vorliegenden Falle aus.

Die Summe S der Wärmeverluste ist:

$$A + B + C + D + E + F = S$$

$$1809 + 568 + 1280 + 120 + 360 + 420 = 4557 \text{ Calorien.}$$

Wenn, wie oben berechnet, 1 qm Luftofenfläche 600 Calorien emittirt, so sind hier nöthig

$$\frac{4557}{600} = 7{,}6 \text{ qm Heizfläche.}$$

Der Luftofen lässt sich mit Wellblech leicht so ausführen, dass die verticale Gesammtfläche doppelt so gross ist als die verticale Umfangsfläche eines ihn genau einschliessenden Parallelepipedes. Ein sehr

schmaler Luftofen von 1 m Breite und 2 m Höhe aus Wellblech hat alsdann über

$$2 . 1 . 2 . 2 = 8 \text{ qm Heizfläche.}$$

Ein schmaler Luftofen von der Grösse einer gewöhnlichen Zimmerthür würde demnach für ein Zimmer von 100 cbm, also für ein ziemlich grosses Zimmer, unter sehr ungünstigen Verhältnissen ausreichen.

II. Die Wolpert'sche Wandheizung.

Die Wandheizung ist eine Combination der Luftheizung mit der Kanalheizung insofern, als bei der antiken Kanalheizung mitunter doppelte Wände mit eingelegten Heizröhren vorhanden waren.

Bei der in den Figuren 387, 388 und 389 dargestellten Wandheizungseinrichtung ist wie bei der Luftofenheizung unterhalb der Heiz-

Fig. 387.

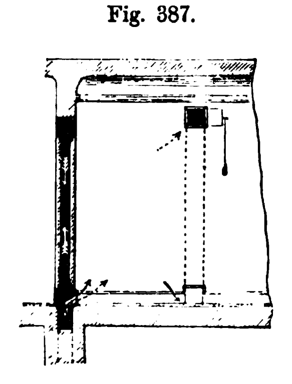


Fig. 388.

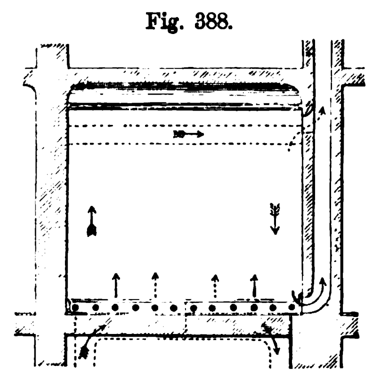




Fig. 389.

wand eine Luftheizkammer zu denken, und Alles, was über die Behandlung der Luftofenheizung gesagt ist, gilt auch hier.

Durch Anwendung von Wellblech sind Wandkanäle gebildet, welche von der heissen Luft durchströmt werden; die geheizte Wand vertritt die Stelle des Luftofens. Man kann ebenso wie bei jenem die warme Luft an dem einen Ende der Wand in den Oberkasten emporleiten und aus dem Sockelkasten am anderen Ende die kältere Luft in die Heizkammer zurückleiten, was wegen der in der Regel leichten Anbringung und Handhabung der Drosselklappen in manchen Fällen das zweckmässigste sein kann. Da diese Einrichtung an sich sehr einfach und um so mehr aus der Darstellung des Luftofens klar sein wird, ist hier eine andere Einrichtung dargestellt. Der unten offene Sockel-

kasten befindet sich über einem oben offenen horizontalen Kanal, welcher einerseits mit der Decke, andererseits mit dem Boden der Heizkammer in Verbindung steht.

Die Berechnung der nöthigen Wandheizfläche kann vorläufig und überhaupt nicht mit solcher Zuverlässigkeit gemacht werden, wie bei der Luftofenheizung. Die Wellen dienen hier, wenn, wie es gewöhnlich Bedingung sein wird, das Wellblech an der Wand nicht sichtbar sein soll, nicht unmittelbar als Heizflächen und auch nicht zur Vergrösserung der Heizfläche, sondern nur zur Bildung der Wandkanäle. Es kommt nur die einfache Wandfläche als wärmende Fläche zur Geltung, und da es in der Regel des Aussehens wegen nicht angehen wird, diese Wandflächen durch einfaches Vorsetzen von Blechtafeln vor das Wellblech zu bilden, so hängt die Grösse der Wärmetransmission von der weiteren Bekleidung dieser Wandfläche ab, die sehr verschiedenartig sein kann.

Offenbar verursacht die Herstellung einer solchen Wandheizung grössere Schwierigkeiten und Kosten als die Anschaffung und Aufstellung eines Luftofens von gleicher Heizwirkung; sie ist folglich im Allgemeinen weniger empfehlenswerth, kann jedoch unter manchen Umständen, namentlich wo die möglichste Ausnützung eines beschränkten Raumes Hauptbedingung ist, mit Vortheil zur Anwendung kommen.

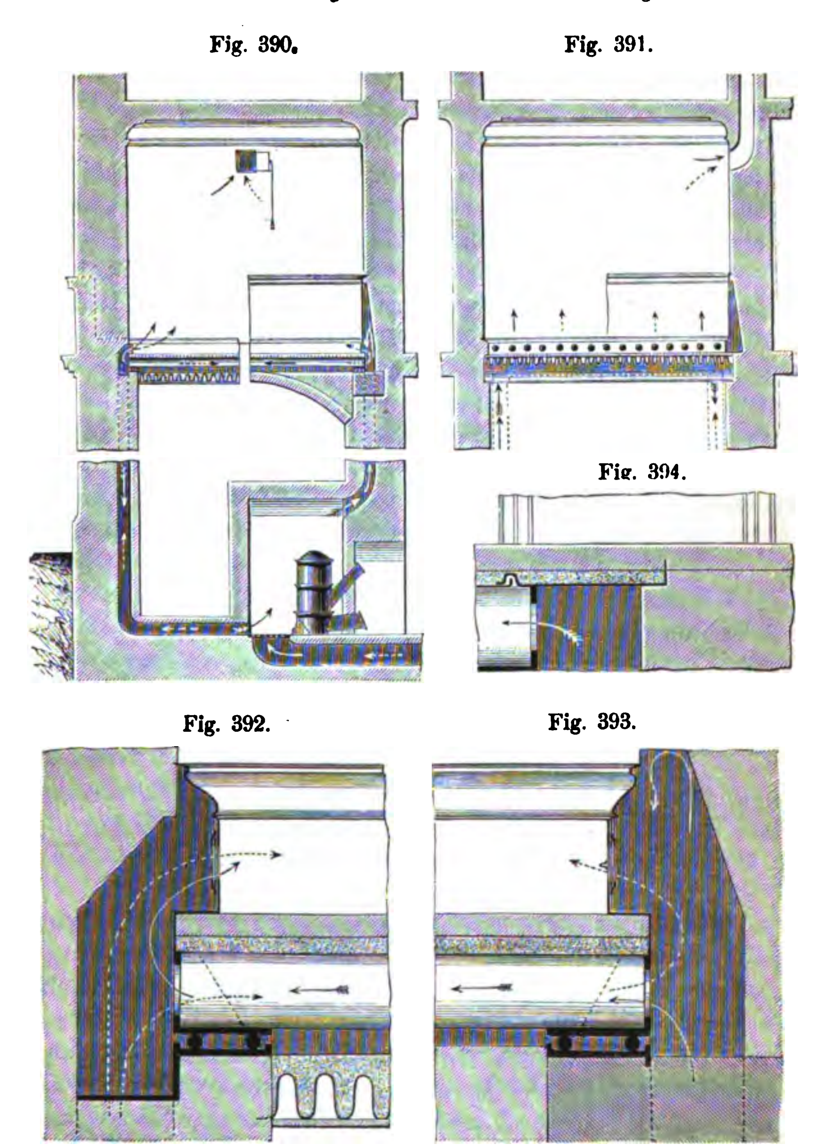
III. Die Wolpert'sche Boden- und Lambris-Heizung.

Die Boden- und Lambris-Heizung ist eine Combination der Luftheizung und Kanalheizung, wie nach den vorausgegangenen Erklärungen und den Darstellungen in Fig. 390 und 391 klar sein wird.

Diese Heizmethode dürfte dem Ideal einer angenehmen, gesunden und im Betrieb ökonomischen Heizung nahe kommen. Leider stehen ihrer Anwendung als bedeutende Hindernisse im Wege: schwierige und von den üblichen Bauconstructionen vielfach abweichende Einrichtung und hohe Anlagekosten. Diese Hindernisse wiegen indessen den entschiedenen Vorzügen gegenüber nicht so schwer, dass man nicht auf baldige, wenn auch vorerst vereinzelt auftretende, Anwendung hoffen dürfte. Desshalb wird ein näheres Eingehen auf die Ausführungs- und Benützungsweise in diesem Buche gerechtfertigt sein.

Die in der Heizkammer erhitzte Luft wird durch Kanäle, welche von der Heizkammerdecke ausgehen, in schliessbare Erwärmungskörper geführt, welche theils in den Fussböden liegen, theils Sockel- und Brüstungs-Lambris bilden.

Für die Herstellung der zu heizenden Fussböden wird Well-


Fig. 390. Fig. 391. Fig. 394. Fig. 392. Fig. 393.

blech angewendet, für die Lambris kann das nämliche oder ein anderes Material zur Verwendung kommen, welches die hohe Temperatur verträgt.

Von diesen Erwärmungskörpern gehen andererseits Kanäle bis zum Boden der Heizkammer hinab.

Die Vorgänge der Circulation und Ventilation sind genau ebenso, wie bei der Luftofenheizung. Auch ist in den Figuren wieder durch gefiederte Pfeile die Circulation, also eigentliche Heizweise, wobei die Raumerwärmung durch Strahlung, Leitung und Luftberührung erfolgt, angedeutet, durch ungefiederte in vollen Linien gezeichnete Pfeile die Ventilation mit warmer Luft, durch ungefiederte punktirte Pfeile die Ventilation mit kalter Luft.

In Bezug auf die Stellen der Ableitung der Zimmerluft sind die massgebenden Umstände hier andere als bei der Luftofenheizung und Wandheizung oder Ventilations-Luftheizung der üblichen Art. Bei dieser Fussboden- und Lambris-Heizung ist es zweckmässiger, die Ableitung der Zimmerluft nur in der Nähe der Decke zu bewerkstelligen, weil die unteren Schichten reichlich warme und zugleich die unmittelbar zugeführte reinste Luft enthalten; gerade die Vermeidung des Wiederkehrens der in die Höhe gelangten ausgeathmeten Luft in die Schicht der Athmung herab ist wo immer möglich anzustreben.

In constructiver Hinsicht ist die Ausdehnung des Eisens durch die Wärme für die Fussbodenheizung in ernstliche Erwägung zu ziehen. Kommt es auf das Aussehen der Decke unterhalb des geheizten Raumes nicht an, und ist es erwünscht, dass auch dieser untere Raum erwärmt werde, so kann das Wellblech unten geradezu als Decke dienen. Ausserdem wird eine besondere Decke unter dem zu erhitzenden Wellblech angebracht, entweder ein Gewölbe oder eine zweite Wellblechdecke, deren Wellen sich zweckmässig mit der Richtung der anderen kreuzen. (Fig. 392 und 393.) Die untere Wellblechdecke wird zweckmässig mit Sand überfüllt.

Das zu erhitzende Wellblech lässt man an beiden Endseiten der Wellenlängen auf einem Trägerstuhl ruhen, durch welchen zugleich die unteren Wellenöffnungen geschlossen sind, und diesen Trägerstuhl, welcher an beiden Enden etwas Spielraum haben muss, legt man auf Rollen, die auf gusseisernen mit entsprechend weiten Stossfugen vermauerten Platten von höchstens 1 m Länge ruhen. Oben wird das Wellblech mit Blechtafeln gedeckt, welche ringsum bis zur Fussbodenhöhe aufgebogen und dort mit einem Wandsockel von Blech oder Gusseisen verbunden sind. Dieser Sockel läuft auch an den Fenstern durch, so dass in den Fensternischen ein erhöhter Tritt gemauert werden muss.

Die Heizung der Brüstungslambris aus Blech, Gusseisen oder Marmorplatten u. dgl. kann ohne Bodenheizung oder vereint mit dieser

ausgeführt werden; immer jedoch lässt man die Ventilationsluft unten durch den Wandsockel in das Zimmer fliessen.

Da an Zimmerthüren der Wandsockel nicht durchlaufen kann, wird auf Thürbreite die Blechdeckung etwas abgeändert, wie in Fig. 394 dargestellt ist.

Auf die Blechtafeln, welche dicht an einander gefügt sein müssen, kommt eine Sandschicht von etwa 2 cm Höhe und darauf ein Plattenbelag, welcher entweder unmittelbar als Fussboden dient, oder aus gewöhnlichen Thonfliesen besteht, worüber ein Estrich, auch Stuccolustro u. dergl. hergestellt wird, oder mattgeschliffene Platten aus Gusshartglas oder Mettlacher Plättchen u. dergl. in Cement gelegt werden. Durch die Sandlage wird bewirkt, dass der Blechboden sich unabhängig vom eigentlichen Fussboden etwas ausdehnen und zusammenziehen kann.

Will man einen Holzfussboden haben, so werden anstatt der Thonfliesen über der Sandschicht Backsteine verwendet, über welchen die Temperatur nicht mehr zu hoch ist. Feuersgefahr ist dabei nicht vorhanden, allein das Holz muss gegen starkes Schwinden und Wachsen in der Art präparirt werden, dass es vor der Verwendung genau zugerichtet, stark ausgetrocknet und dann sofort mit einem Wasserglasanstrich versehen wird. Ueberdies wird man die Holzfussböden mit Oelfarbe anstreichen lassen.

IV. Verbindung der Dampfheizung und Wasserheizung mit Ventilationseinrichtungen. Dampf-Luftheizung und Wasser-Luftheizung.

Die Heizgefässe, Heizschlangen und Register der Dampf- und Wasserheizung werden zur Erzielung der Ventilation mit Mänteln umgeben, welche unten durch Kanäle mit Luftkammern oder unmittelbar mit der freien Atmosphäre in Verbindung stehen. Da es für diesen Zweck wesentlich gleichgültig ist, ob der Heizkörper im Mantel durch Feuer oder durch Dampf oder Wasser erhitzt wird, so ist nach den ausführlichen Mittheilungen über Mantelöfen (§. 220) hier Nichts weiter zu sagen.

Man bezeichnet solche Mantelofeneinrichtung bisweilen als Dampf-Luftheizung, beziehungsweise Wasser-Luftheizung, was ebensowenig richtig ist, wie die Bezeichnung der gewöhnlichen Mantelofenheizung als Luftheizung.

Unter Dampf-Luftheizung und Wasser-Luftheizung hat man nur solche Einrichtungen zu verstehen, bei welchen die zu heizenden

Räume durch Zuführung von Luftmassen erwärmt werden, welche ausserhalb dieser Räume durch Dampfheizungs-, beziehungsweise Wasserheizungs-Apparate auf hohe Temperatur gebracht worden ist. Von der gewöhnlichen Luftheizung unterscheiden sich diese Einrichtungen nur darin, dass statt des Luftheizungsofens in einer Heizkammer, die mitunter zu einem Heizkanal wird, die Heizkörper der Dampf- oder Wasserheizung in Anwendung kommen.

Wenn man, wie es nicht selten geschehen ist, einen Kessel für Dampf- oder Wasserheizung aufstellt, um unmittelbar daneben in einer Heizkammer durch ein Dampfregister oder eine Wasserheizungsschlange die Luft zu erwärmen, so ist das eine nicht besonders empfehlenswerthe Einrichtung; denn wenn auch hierbei Gegenstromheizflächen in Anwendung kommen, was an sich vortheilhaft ist, muss doch zugegeben werden, dass weder die Anlage noch der Betrieb so einfach und ökonomisch sein kann, wie bei einer guten eigentlichen Luftheizung. Der Umstand, dass man die Ueberhitzung der Luft vermeidet, hat wenig Gewicht, da Gleiches sich bei Luftheizungsöfen erreichen lässt und überdies starke Lufterhitzung nicht so nachtheilig ist, wie heutzutage vielfach angenommen wird.

Jene Abarten der Luftheizung haben ihre Entstehung und in der Regel ihre Anwendung irrthümlichen Ansichten von der Trockenheit und Feuchtigkeit der Luft zu verdanken.

Indessen bieten der eigentlichen Luftheizung gegenüber, weil die warme Luft selbst sich nur auf kurze Entfernungen fortleiten lässt, jene combinirten Heizmethoden den Vortheil, dass man mittels einer Centralheizstelle Heizkammern und folglich Zimmer in sehr grossen Entfernungen erwärmen kann. Dieses gilt ganz besonders für die Dampf-Luftheizung, wie aus den Mittheilungen über die Districts-Dampfheizung (§. 259) hervorgeht. Dampf-Luftheizung mit solcher Centralheizung ist die Heizmethode der Zukunft.

V. Die Dampf-Wasserheizung.

Es liegt in der Benennung Dampf-Wasserheizung, dass man dabei sowohl Dampf als Wasser zur Beheizung benützt. Die Art der Benützung kann verschieden sein. Die Heizgefässe sind entweder Wasseröfen, in welchen das Wasser durch Dampf erwärmt wird, oder es sind besondere Dampf-Wasseröfen, bei welchen ein Theil der Heizfläche Dampfwärme, der andere Wasserwärme transmittirt.

Die Erwärmung des Wassers durch Condensation des Dampfes im Wasser selbst ist für bewohnte Räume nicht gut geeignet, weil der

im kälteren Wasser direct sich verdichtende Dampf ein unangenehmes Geräusch verursacht.

Dagegen ist die Erwärmung des Wassers mittels hindurchgeleiteter Dampfröhren zweckmässiger. Man denke sich die in Fig. 349 und 350 dargestellten Dampfheizungs-Mantelöfen unten geschlossen und den Mantelraum mit Wasser gefüllt, so hat man Oefen für Dampf-Wasserheizung. Man kann nun einen solchen Ofen, wenn er auch oben geschlossen ist, als Walzenkessel mit verticaler Achse ansehn, kann damit eine mit Wasser gefüllte Röhrenleitung verbinden, welche sowohl oben als unten mit diesem Kessel in Communication steht, kann irgendwo ein Expansionsgefäss anbringen oder auch in dem kesselähnlichen Hauptreservoir, wenn sein Standort das Wasserröhrensystem überragt, oben eine Oeffnung lassen und hat so die Einrichtung einer Wasser-Circulationsheizung, welche man auf benachbarte Räume ausdehnen kann.

Vor der einfachen Wasser-Circulationsheizung hat diese Einrichtung den vortheilhaften Umstand voraus, dass man, weil der Dampf sich viel weiter als heisses Wasser fortleiten lässt, in viel grösseren Entfernungen von der Centralheizstelle warmes Heizwasser haben kann, und auf solche Weise von einem Dampfkessel aus mehrere weit entfernte Wasser-Circulationen zu heizen vermag, gerade so, wie bei einer Districts-Dampf-Luftheizung die Luft einer Heizkammer in sehr grosser Entfernung von dem Dampfkessel durch die Dampfleitung erwärmt wird.

Dieser Vorzug erstreckt sich ebenso auf die Anwendung von Dampf-Wasseröfen, welche theils mit Wasser, theils mit Dampf gefüllt sind. Man könnte geneigt sein, den in Fig. 354 dargestellten Käuffer'schen regulirbaren Dampfofen mit veränderlicher Heizfläche als einen Dampf-Wasserofen anzusehen. Es hat aber die Ansammlung des Condensationswassers in dieser Weise nicht den Zweck, zur besseren Erwärmung eines Zimmers beizutragen, sondern im Gegentheil die Heizwirkung zu vermindern.

Eigentliche Dampf-Wasseröfen mit halber Dampf- und Wasserfüllung sind bei dem bewährten Dampf-Wasser-Heizungssystem der Firma Gebrüder Sulzer in Winterthur angewendet, dessen Einrichtung hier kurz angegeben werden mag.

Von einem im Kellergeschoss des Gebäudes aufgestellten Dampfkessel aus ist die Hauptröhre der Dampfleitung auf den Dachraum emporgeführt, wo sich die Leitung in horizontalen Vertheilungsröhren über die zu heizenden Theile des Hauses hin verzweigt. In den zu heizenden Localen sind Oefen aufgestellt, und zwar in der Regel in den

Ecken und vertical unter einander in den einzelnen Stockwerken, so dass diese durch eine gemeinsame verticale, von der Zweigleitung herabgeführte Röhre mit Dampf gespeist werden können. Mit dieser verticalen Dampfröhre ist jeder Ofenraum oben und unten in Communication gesetzt. Der Ofen besteht aus zwei concentrischen Cylindern von Eisenblech, welche oben und unten durch gusseiserne Platten verbunden und geschlossen sind. Der Dampf wird oben in den ringförmigen Zwischenraum geleitet, welcher in halber Höhe mit Wasser gefüllt ist. Bis auf die gleiche Höhe ragt innerhalb der Wasserfüllung eine Röhre empor, welche den Dampf durch das Wasser hinab in einen niederen ringförmigen Raum leitet, aus welchem er in einige andere Röhren gelangt, welche zur Dampfverdichtung und Wassererwärmung dienen. Das Condensationswasser fliesst aus dem unteren ringförmigen Dampfraume nach der äusseren verticalen Dampfleitungsröhre ab, sobald sich durch den Druck des Condensationswassers ein Ventil, das sogenannte Condensationsventil öffnet.

Die unten vereinigten Rückleitungsröhren führen das Wasser wieder in den Kessel*).

§. 272.

Apparate zur Erkennung der Temperatur und Feuchtigkeit der Zimmerluft in grossen Entfernungen. Control- und Alarm-Vorrichtungen.

Bei ausgedehnten Centralheizungsanlagen ist es von Wichtigkeit, die Temperatur, mitunter auch die relative Feuchtigkeit der verschiedenen Räume in einem einzigen hierfür bestimmten Local zu erkennen und auf die Ueberschreitung der zulässigen Grenzen aufmerksam gemacht zu werden. In Krankenhäusern soll dem Chefarzt solche Controle in einem ihm passend gelegenen Zimmer ermöglicht sein, während gleiche Anzeigen dem Heizer im Kellergeschoss zugehen. In grossen Schulhäusern, in Theatern, Gerichtsgebäuden u. s. w. mit Centralheizung, ebenso bei manchen Räumen für industrielle Zwecke, soll wenigstens der Heizer in den Stand gesetzt sein, in der Nähe seines Arbeitsraumes zu

*) Eine lehrreiche Abhandlung von Prof. Herm. Fischer über Dampf-Wasserheizung nebst Darstellung einiger neueren Dampfwasseröfen enthält Dingler's polytechnisches Journal, Band 234, Heft 1, S. 34.

erkennen, welche Regulirungen er vorzunehmen hat. Es sind verschiedene hierfür dienende Mittel in Anwendung*).

Der Thermotelegraph des Eisenwerks Kaiserslautern ist ein Instrument, welches selbstthätig an einem beliebig entlegenen Orte durch zwei verschiedene Glockensignale anzeigt, wann der Raum, in welchem es sich befindet, eine bestimmte höhere Temperatur, und wann er eine bestimmte tiefere Temperatur angenommen hat.

Eine U-förmig gebogene Glasröhre von ungefähr 30 cm Höhe ist an dem grösseren Theile und zwar unten sehr eng, oben erweitert, in zwei geschlossene cylindrische Gefässe übergeführt. Der untere Theil enthält Quecksilber, womit jedoch die enge Röhre nur theilweise gefüllt ist.

Als thermometrische Substanz dient nicht dieses Quecksilber, sondern ein Isolator der Elektricität, Alkohol, welcher den Raum über dem Quecksilber auf der einen Seite vollständig, auf der anderen Seite nicht vollständig ausfüllt und bei seiner durch Erwärmung erfolgenden Ausdehnung in der vollständig gefüllten Röhre den Quecksilberfaden in dem unteren U-förmigen Theile vor sich her treibt, da auf der anderen Seite über dem Alkohol ein Raum für Luft und Alkoholdämpfe frei gelassen ist, also für gasförmige Flüssigkeiten, welche sich auf einen kleineren Raum zusammendrücken lassen. Die Länge des Quecksilberfadens ist so gewählt, dass er den unteren gebogenen Theil der Glasröhre bei denjenigen Temperaturen, welchen das Instrument ausgesetzt werden soll, nicht verlässt.

An den beiden obersten Enden der geschlossenen Gefässe und am tiefsten Punkte der Biegung ist je ein Platindraht eingelassen, von welchem aus Drahtleitungen an denjenigen Ort führen, der das Signal empfangen soll. Daselbst sind zwei elektro-magnetische Läutwerke angebracht, welche zwei sehr verschiedene Töne geben, einen tiefen und einen hohen Ton. Das eine Läutwerk, welches den tieferen Ton gibt, beginnt seine Thätigkeit, wenn das Quecksilber den Platindraht auf der Seite des nur theilweise mit Alkohol gefüllten Gefässes berührt, das andere läutet, wenn das Quecksilber mit dem Draht in dem gänzlich mit Alkohol gefüllten Gefäss in Verbindung tritt. Der von dem unteren Theile des Quecksilberfadens ausgehende Draht ist mit dem einen Pol

*) Broschüre des Eisenwerks Kaiserslautern 1878.
Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 1878, Heft X u. XI.
Der Rohrleger, 1879, Nr. 13 und Nr. 18.
Der Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur, 1880, Nr. 2.

der Batterie verbunden, welche zum Betrieb mehrerer solcher Systeme in einem Gebäude aus zwei Meidinger-Elementen bestehen kann. Die beiden anderen Drähte gehen durch die Läutwerke nach dem andern Pol.

Die Enden der Platindrähte und des Quecksilberfadens in der engen U-förmigen Röhre sind so gegen einander gestellt, dass die Summe der beiderseitigen Zwischenräume der Ausdehnung entspricht, welche der Alkohol bei Erwärmung von der unteren bis zur oberen Grenze des gewünschten Temperaturintervalls erfährt. Wünscht man ein bestimmtes Temperaturintervall unveränderlich zu erhalten, so werden die Alkoholgefässe, wie im Obigen angedeutet, aus Glas hergestellt und mit der engen U-förmigen Glasröhre zusammengeblasen; die Platindrähte sind dabei oben in das Glas eingeschmolzen.

Soll dagegen das Temperaturintervall veränderlich sein, so werden die Alkoholgefässe aus Stahl hergestellt und an den oberen Enden durch eingedrehte Pfröpfe von Hartgummi geschlossen. In diesen Pfröpfen werden Stahldrähte verschoben, in welche die Platindrähte eingeschraubt sind.

Das Instrument signalisirt zwei bestimmte, übrigens in weiten Grenzen wählbare Temperaturen in deutlich unterscheidbarer Weise, wirkt selbstthätig, muss also nie gerichtet, aufgezogen oder eingestellt werden. Es ist auch sehr zuverlässig, denn die Signale werden durch den Contact zwischen Quecksilber und Platin verrichtet, welcher den sichersten galvanischen Schluss gewährt; der Quecksilberfaden wird durch zwei sehr energische Kräfte, die Ausdehnung einer Flüssigkeit einerseits, die Expansivkraft von comprimirten Gasen andererseits geführt, wobei ein Liegenbleiben oder Trennen desselben nicht möglich ist; ebenso ist ein Verschieben des Quecksilberfadens innerhalb der thermometrischen Flüssigkeit durch die Lage und eigenthümliche Form des Instrumentes unmöglich gemacht. Die verwendeten Flüssigkeiten sind in weiten Temperaturgrenzen, wenigstens in denjenigen, welche für vorliegende Anwendungsweise vorkommen können, unveränderlich.

Es kann jedoch geschehen, dass in Folge von Erschütterungen bei einem Transport der Quecksilberfaden sich trennt; er wird dann durch wiederholtes Stossen des aufrecht gehaltenen Instrumentes gegen einen elastischen Gegenstand wieder vereinigt. Noch sicherer hat sich das Mittel erwiesen, das Instrument abwechselnd zu erwärmen und abzukühlen, so dass jedesmal das Quecksilber ein gutes Stück über das Platin empordringt. Der Widerstand, den es dabei erfährt, hält das Quecksilber auf und lässt den Weingeist hindurchtreten.

Ein anderer Apparat für den Zweck, die Temperatur eines Raumes an einem anderen Orte mit Hülfe des galvanischen Stromes anzuzeigen, ist „das elektrische Metallthermometer mit variabler Contactvorrichtung“, welches von dem Ingenieur H. Rösicke in Berlin in Anwendung gebracht wird. Der Zeiger des Anzeigeapparates (Galvanometers) steht vertical, so lange die Temperatur sich innerhalb eines variabel einstellbaren Maximums und Minimums befindet; er schlägt nach rechts aus und lässt „zu warm“ ablesen, wenn die Temperatur über das Maximum gestiegen ist, dagegen nach links auf die Ablesung „zu kalt“, wenn die Zimmertemperatur unter das Minimum gesunken ist. Das hierbei angewandte Thermometer ist eine horizontale Spirale, hergestellt aus Metallen mit verschiedenen Ausdehnungscoëfficienten.

Um bei Schulhäusern den Heizer in den Stand zu setzen, im Keller die Temperaturen der Lehrsäle zu erkennen, hat der Oberingenieur des Wiener Stadtbauamtes Friedrich Paul einen „Apparat beweglicher Thermometer“ construirt und bereits mit gutem Erfolg in Anwendung gebracht. In jedem Lehrsaale hängt an passender Stelle ein Thermometer mit Schnur und Rolle in einem hölzernen, an der Mauer befestigten Verkleidungskasten, welcher bis in den Keller reicht und daselbst durch ein Thürchen geschlossen ist. Eine einfache Klobenvorrichtung lässt die Schnur frei machen und das Thermometer fällt in wenigen Secunden aus dem Lehrsaale in den Keller hinab. Dabei wird die Wirkung des Stosses durch einen Knopf aufgehoben, welcher mit dem Thermometer in Verbindung ist, und auch durch die Elasticität der langen Schnur abgeschwächt. Eine bedeutende Temperaturveränderung entsteht in der kurzen Fallzeit nicht, und der Heizer versetzt nach erfolgter Ablesung der Temperaturgrade das Thermometer durch Aufrollen der Schnur wieder an seinen alten Standort; den richtigen Stand desselben im Schulsaale entnimmt der Heizer aus der Hemmung, welche ein oberhalb des wandernden Thermometers angebrachter elastischer Knopf ausübt, sobald das Thermometer an seinem richtigen Platze angelangt ist.

Fischer und Stiehl in Essen lassen die Bilder der einzelnen Thermometer durch Spiegel nach dem Keller reflectiren und dort mittels einfacher Fernröhren beobachten. (Deutsches Reichspatent Nr. 8118.) Das Zimmerthermometer ist vor einem in der Wand ausgesparten, bis zum Keller hinabreichenden verticalen Kanal aufgestellt, welcher dem Thermometer gegenüber eine mit einer Glasscheibe geschlossene Oeffnung hat. Im Kanal befindet sich dem Thermometer gegenüber ein unter 45° geneigter Spiegel und ein eben solcher im Kellergeschoss in

Augenhöhe, und hier ist in der Kanalwand eine kleine Fernröhre eingesetzt. Die Scala des Thermometers muss aus mattem Glas bestehen und die Aufstellung so gewählt werden, dass das Licht dieselbe voll trifft, was eventuell durch seitlich angebrachte Spiegel erreicht werden kann.

Es wird angegeben, dass, um so auch den Feuchtigkeitsgehalt der Zimmerluft beobachten zu können, nur nöthig sei, dem Thermometer ein zweites mit befeuchteter Kugel hinzuzufügen. Allein dieses August'sche Psychrometer ist überhaupt wenig zuverlässig, und noch weniger im vorliegenden Falle, da die Differenz der beiden Thermometerstände nicht nur von der relativen Feuchtigkeit, sondern auch von der Luftbewegung in hohem Grade abhängig ist. Ueberdies kann die richtige Benützung dieses Psychrometers nicht wohl bei einem Heizer vorausgesetzt werden*).

Die Construction eines elektro-magnetischen Control- und Signal-Apparates des hygrometrischen Zustandes der Zimmerluft, also ein Hygrotelegraph, ist im Wesentlichen durch Rietschel's selbstregulirenden Luftbefeuchtungs-Apparat, von welchem in §. 274 die Rede sein wird, bereits gegeben.

Dass man die Bilder von Hygrometern ebenso wie von Thermometern durch Spiegel nach dem Keller reflectiren lassen kann, ist an sich klar. Ebenso liegt es nahe, mit dem beweglichen Thermometer ein Hygrometer in den Keller hinabzulassen; allein ein gutes Haarhygrometer, wie etwa das Koppe'sche, würde vermuthlich hierbei leicht beschädigt werden, auch unter dem Einflusse der Luftveränderung im Schacht seine Zeigerstellung bedeutend ändern. Mein in §. 61 und 62 beschriebenes Procent-Hygrometer würde sich in Bezug auf Haltbarkeit eignen, aber es ist gleichfalls in seinen Angaben zu empfindlich; seine Angaben können sich in einigen Secunden beim Herablassen im Luftstrome des Schachtes um 10 Procent und mehr ändern. Geringer wird der Fehler, wenn man die Einrichtung so macht, dass der Schacht sich oben schliesst, sobald er unten geöffnet wird, so dass der Apparat sich in ziemlich ruhiger Luft bewegt. Es wird sich da die Veränderung bei guter Einrichtung und raschem Ablesen auf 5 oder 6 Procent reduciren lassen, und ein solcher Unterschied ist nach jeder Seite hin zulässig. Aber gerade desswegen genügt auch die Anwendung eines einfachen und weniger empfindlichen Hygroskops, etwa eines Farbenhygroskops (§. 60); ich vermuthe, dass dieses zweckdienlich mit dem Paul-

*) Vgl. Anhang zu Staebe's Preisschrift über Ventilationssysteme. S. 111.

schen Apparate beweglicher Thermometer in Verbindung gebracht werden kann. Der mit Kobaltchlorür getränkte Zeuglappen müsste immer in einer Farbe erscheinen, welche sich nach einigen vergleichenden Beobachtungen mit einem guten Hygrometer leicht bestimmen lässt. Im Allgemeinen würde entschieden röthliche Färbung zu grosse Feuchtigkeit anzeigen und entschieden bläuliche Färbung zu grosse Trockenheit.

§. 273.

Ueber die Trockenheit der Luft in geheizten und ventilirten Räumen.

Aus den in §. 56 gegebenen Erklärungen und Tabellen geht hervor, dass der Wassergehalt in einer Luftmasse grossen Schwankungen unterworfen sein kann und dass auch bei dem Vorhandensein einer ganz bestimmten Dampfmenge in einer Luftmasse, also bei constanter absoluter Feuchtigkeit, die relative Feuchtigkeit, als das Verhältniss der in der Luft bei der betreffenden Temperatur als Dampf vorhandenen Wassermenge zu der daselbst bei der nämlichen Temperatur möglichen Sättigungsmenge, in weiten Grenzen sich ändern muss, wenn die Temperatur der Luft sich bedeutend ändert; denn die Feuchtigkeits-Capacität der Luft wächst mit ihrer Temperatur, und besonders schnell bei hohen Temperaturen.

So vermag 1 cbm Luft an Wasserdampf zu enthalten*):

bei	— 20° C.	1,06 g,	abgerundet	1 g
„	— 10° „	2,30 „	„	2 „
„	0° „	4,98 „	„	5 „
„	+ 10° „	9,38 „	„	9 „
„	+ 20° „	17,23 „	„	17 „
„	+ 50° „	82,72 „	„	83 „
„	+ 100° „	591,92 „	„	592 „

Wenn man sehr kalte Luft von der relativen Feuchtigkeit 100 Procent, beispielsweise 1 cbm mit Feuchtigkeit gesättigte Luft von der Temperatur — 20° C., in einem Kasten eingeschlossen aus dem Freien in ein Zimmer bringt, wo die Temperatur + 20° C. ist, wird die rela-

*) Die hier gegebenen Werthe nach Regnault sind als die genauesten anzusehen. Sie zeigen geringe Abweichungen von den Angaben anderer Autoren, welche ich an anderen Stellen benützt habe. Für die Zwecke dieses Buches sind solche Differenzen ohne Bedeutung.

tive Feuchtigkeit der Luft im Kasten, während sie erwärmt wird, viel geringer, und nachdem sie die Zimmertemperatur 20° angenommen hat, ist die relative Feuchtigkeit:

$$\frac{1{,}06}{17{,}23} = 6{,}1 \text{ Procent};$$

nach Erhitzung der eingeschlossenen Luft, etwa auf einem Ofen, auf 100° C. wäre die relative Feuchtigkeit:

$$\frac{1{,}06}{591{,}92} = 0{,}18 \text{ Procent.}$$

Auf feuchte Körper würde diese Luft jetzt fast ebenso austrocknend wirken, als wenn sie gar kein Wasser in sich hätte, allein wenn sie wieder auf — 20° abgekühlt wird, ist sie auch wieder wie vorher mit Feuchtigkeit gesättigt und vermag feuchten Gegenständen kein Wasser zu entziehen, und bei einer Temperatur von + 20° ist ihre relative Feuchtigkeit wieder 6,1 Procent, mag sie vorher auf 100° oder 1000° oder beliebig hoch erhitzt worden sein.

Was hier von der in einem Kasten eingeschlossenen Luft gesagt ist, gilt im Allgemeinen auch für die Luft unter gewöhnlichen Verhältnissen, jedoch mit einigen nachher zu erwähnenden, von der zufälligen Beschaffenheit der Umgebung abhängigen Beschränkungen und mit dem unwesentlichen Unterschiede, dass die Luftmasse bei veränderlichem Volumen in Folge der Erwärmung sich in einen grösseren Raum ausdehnt und im Verhältniss der Raumvergrösserung noch etwas mehr relativ trocken wird.

Auf welche Weise die Luft erwärmt wird, ist hierbei gleichgültig; nicht gleichgültig ist es aber, wie viele Cubikmeter solcher Luft stündlich durch ein Zimmer geführt werden, indem von der daselbst vorhandenen oder irgendwie erzeugten Feuchtigkeit jedes Cubikmeter Luft einen Theil aufnimmt und mit sich fortführt. Wo mit der Zimmerheizung irgend eines Systems reichlicher Luftwechsel verbunden ist, wo also die durch Respiration, Perspiration und andere Ursachen befeuchtete Luft fortwährend oder von Zeit zu Zeit weggeführt wird, muss die Zimmerluft relativ trockner werden als bei mangelndem oder geringem Luftwechsel unter gleichen Umständen. Eine nahe liegende Folge hiervon ist, dass man derjenigen Heizmethode, welche sich für die Vereinigung der Ventilation mit der Heizung am besten eignet, der Luftheizung den Vorwurf macht, sie bewirke eine zu starke Austrocknung der Zimmerluft. Aber selten wird daran gedacht, in den oben erwähnten physikalischen Vorgängen die Ursachen und Gegenmittel zu suchen; von Unklarheit und Vorurtheil befangen erblickt man

eben in der Luftheizung an sich, oft im Ofen, das gefürchtete Uebel, behauptet sogar, die Austrocknung sei eine natürliche Folge der Circulation, und man müsse, um die Austrocknung zu vermeiden, fleissig ventiliren!

Wie unrichtig in anderer Weise solche Vorgänge sogar von wissenschaftlich gebildeten Männern aufgefasst werden, das mag aus folgenden Stellen einer vor wenigen Jahren erschienenen Schrift ersehen werden *):

„Die Luft wird an der glühenden Metallfläche ihres Feuchtigkeitsgehaltes beraubt.“ Dr. med. U.

„Die Luft wird bei Steinkohlenfeuerung trockener als bei Holzfeuerung.“ Schulrath M.

„Durch zu rapide Erwärmung resp. Ausdehnung der Luft wird der Feuchtigkeitsgehalt derselben geschmälert, die Luft wird trocken.“ Ingenieur H.

„An dem stark erhitzten, ja manchmal rothglühenden Ofen verliert die Luft alle Feuchtigkeit, welche ihr durch Aufstellen von Wasser nicht mehr zu geben ist.“ Ingenieur B.

„Die Luft in der Heizkammer ist sehr trocken; wird gleichzeitig Wasser verdampft, so erreichen die feuchten Atome höchstens die zunächst dem Ofen liegenden Parterreräume, aber wegen der bei Verminderung der Wärme eintretenden Schwere und des an den Kanalwänden stets erfolgenden Niederschlags kommen dieselben fast nie zu einem heilsamen Einflusse auf die in den Räumen herrschende dürre Luft. Diese Fehler kann keine Luftheizung vermeiden, sie mag construirt sein, wie sie will.“ Civilingenieure P. und B.

„Die in der Heizkammer erhitzte Luft muss mit Wasserdampf gesättigt werden können für die Temperatur, welche sie im Zimmer haben soll.“ Prof. Dr. R.

„Dass die bei fehlerhafter Anlage einer Luftheizung ganz trockne Luft der Gesundheit nachtheilig ist, darüber herrscht wohl kein Zweifel.“ Prof. Dr. K.

„Weit besser ist die Wasser- oder Dampfheizung, wobei ein Austrocknen der Zimmerluft vermieden wird.“ Director W.

---

*) Ich verzichte auf Wiedergabe der Namen und Wohnorte aus dem Original; es sind meist bekannte und sogar berühmte Namen. Zur Begründung der Wichtigkeit gegenwärtiger Besprechung genügt es anzugeben, welchen Fachkreisen sie angehören.

Das Register solcher unklaren und irrthümlichen Ansichten und Behauptungen, welche in verschiedenen Modificationen des Ausdrucks meistens darauf hinauslaufen, dass die Luftheizung zu verwerfen sei, liesse sich durch Citate aus neuesten Schriften noch bedeutend erweitern. Sprechen sich aber Aerzte, Professoren, Techniker und Schriftsteller in solcher Weise aus, so darf man sich gewiss nicht wundern, wenn ein Bauherr, welcher in den pyrotechnischen und hygienischen Wissenschaften Laie ist, nichts davon wissen will, von den grossen Vortheilen und Annehmlichkeiten der Luftheizung in seinem Hause Gebrauch zu machen. So ist es heute noch, obgleich es seit zwanzig Jahren nicht an Aufklärung gefehlt hat, und so wird es noch länger bleiben; und doch ist das richtige Verständniss dieser Dinge, wie aus dem Obigen und Folgenden zu entnehmen sein wird, keineswegs schwierig.

Wenn die in der Heizkammer eingeschlossene Luft einen Verlust ihres Feuchtigkeitsgehaltes erleidet, so muss dieser Verlust irgendwo daselbst eine Vermehrung der Feuchtigkeit zu Wege bringen, da das einmal vorhandene Wasser weder in Nichts verschwinden, noch auch am glühenden Luftheizofen zersetzt werden kann; letzteres nicht, weil Eisen leichter mit freiem Luft-Sauerstoff, als mit dem chemisch gebundenen Sauerstoff der Luftfeuchtigkeit eine Verbindung eingeht. Ueberdies ist erfahrungsgemäss die Menge des in einem Winter sich an irgend einem Ofen bildenden Eisenoxyds so gering, dass selbst unter der Annahme der Oxydbildung mittels des Sauerstoffs aus zersetztem Wasser diese Desoxydation ohne alle Bedeutung sein würde. Wenn ein nasser Schwamm in der Heizkammer trocken wird, so weiss man, dass die entwichene Feuchtigkeit desselben in die umgebende Luft übergegangen ist; wohin aber sollte das Wasser aus der Luft übergegangen sein? Welchen Feuchtigkeitsgehalt die der Heizkammer entströmende Luft hat, hängt nicht im Geringsten von der Art und Weise der Erwärmung oder der Beschaffenheit der Wärmequelle ab. Es ist beispielsweise ganz gleichgültig dafür, ob die Luft langsam oder schnell, ob sie an einer Stein- oder Eisenfläche erhitzt wurde, ob der Heizkörper Holz oder Steinkohlen oder heissen Rauch oder warmes Wasser oder heissen Dampf oder ein sonstiges Wärmemittel enthält, ob die Heizfläche glüht oder nicht, ob an derselben eine Luftmenge, z. B. von 0° auf 20°, erwärmt wurde und diese Temperatur behielt, oder ob jene zuerst auf 100° erwärmt und dann auf 20° wieder abgekühlt wurde. Dieses ist nach den obigen Mittheilungen klar und unbestreitbar, vorausgesetzt, dass die Luft nicht mit Körpern in Berührung kommt, welche eine Aenderung ihrer Zusammensetzung veranlassen.

Bei der Heizung kommen nun einige Umstände in Betracht, welche verändernd auf den Feuchtigkeitsgehalt der Luft einwirken, aber keineswegs in der Weise der gewöhnlichen Annahme.

Während die Heizkammer allmählich erwärmt wird, also eine Zeit lang nach Beginn der Heizung, nimmt die durch die Erwärmung relativ trockener gewordene Heizluft Wasser aus den hygroskopischen Mauermassen auf, wodurch diese selbst auch trockener werden; später stellt sich ein Beharrungszustand ohne Wasserabgabe und Wasseraufnahme zwischen der Luft und jenen Mauermassen ein. Gleiches gilt von den Warmluftkanälen.

Wird die Luft mit hoher Temperatur in ein Zimmer geführt, ohne in der Heizkammer angefeuchtet worden zu sein, so kann eine Vermehrung der Feuchtigkeit dadurch eintreten, dass sie von den anfänglich feuchteren Zimmerwänden Wasser aufnimmt, also relativ und absolut feuchter wird, als wenn sie mit geringerer Temperatur, mit geringerer Feuchtigkeits-Capacität in das Zimmer gelangen würde. Eine Verminderung des Feuchtigkeitsgehaltes dagegen kann erfolgen, wenn die Heizluft unter die Temperatur abgekühlt wird, bei welcher ihre absolute Feuchtigkeit der Feuchtigkeits-Capacität entspricht, ferner auch, wenn sie mit hygroskopischen Gegenständen in Berührung kommt, welche relativ trockener sind als sie selbst. Ersterer Fall der Verminderung des Wassergehaltes kann vorkommen, wenn die Luft im Freien ganz oder nahezu mit Feuchtigkeit gesättigt ist und auf ihrem Wege aus dem Freien zur Heizkammer einen Kanal passiren muss, in welchem in Folge vorausgegangener kälterer Witterung noch eine geringere Temperatur herrscht als im Freien. Uebrigens ist dieser Vorgang in Bezug auf die Trockenheitsfrage nur günstig, weil die im Kanal abgesetzte Feuchtigkeit später beim Durchströmen relativ trockener Luft wieder an diese übergeht, so dass ein solcher Kalt-Luftkanal einigermassen als Feuchtigkeits-Regulator auftritt. Auch der Umstand, dass sich zuweilen Wasser an den kalten Fenstern der geheizten Zimmer niederschlägt, ist hierher zu rechnen. Ist die absolute Feuchtigkeit der aus dem Freien genommenen Luft auf dem Wege durch die Heizkammer zum Zimmer und auch in diesem nicht vermehrt worden, so kann sich an den Fenstern des wärmeren Zimmers niemals ein Wasserniederschlag zeigen, selbst wenn die Luft im Freien mit Feuchtigkeit gesättigt sein sollte. Der zweite Fall, in welchem ein Feuchtigkeitsverlust eintritt, dass nämlich die Heizluft mit hygroskopischen Gegenständen in Berührung kommt, welche relativ trockener sind als sie selbst, tritt ein während der Abkühlung der Wände der Heizkammer, der Heizkanäle und der geheizten

Räume. In diesen haben wir abermals günstige Ausgleichungsmagazine der Feuchtigkeit, da bei der nächsten Heizung, während die Luft wärmer und damit relativ trockener wird, die in jene Wände gedrungene überschüssige Feuchtigkeit von der Heizluft wieder aufgenommen wird.

Es ist naheliegend, dass bei solchem Wechsel der Aufnahme und Abgabe der Feuchtigkeit durch die Zimmerwände, welcher in ähnlicher Weise bei jeder Art der Heizung stattfindet, grosse Feuchtigkeit der Gesundheit nachtheilig werden kann, da Luft, Feuchtigkeit und Wärme die Factoren der Fäulniss sind. Es unterliegt keinem Zweifel, dass viele Uebel, die man bei Luftheizungen der Trockenheit zuschreibt, gerade auf Rechnung der allzugrossen Feuchtigkeit zu setzen sind, da man in vielen Fällen, wo die Luft sicherlich schon feucht genug ist, noch grosse Wassermengen zum Verdampfen bringt. Namentlich in neuen Häusern und in stark besetzten Schulen ist die Entstehung zu grosser Trockenheit unwahrscheinlich, dagegen eine bedeutende Luftverschlechterung und Gefahr für die Gesundheit als Folge zu grosser Feuchtigkeit und dadurch begünstigter Fäulniss organischer Materien und Festhaltung von Ansteckungsstoffen der Schleimhäute etc. sehr wahrscheinlich.

Mit Recht werden von jeher im Allgemeinen trockene Wohnungen geschätzt und feuchte gescheut; aber sonderbarer Weise geht bei Luftheizungen häufig das Hauptstreben dahin, die Wohnungen möglichst feucht zu machen. Dieses Streben hat sogar vor etwas mehr als 20 Jahren eine Erfindung zu Tage gefördert, welche als „Heizung mit feuchter Luft“ mehrfach empfohlen wurde, aber, wie vorauszusehen, als unzweckmässig befunden, nach kurzem Dasein wieder vom Schauplatze verschwunden war.

§. 274.

Der Hygrometerstand für die richtige Luftbefeuchtungsgrösse.

Wenn dieser Paragraph von der richtigen Luftbefeuchtungsgrösse handeln soll, so ist damit bereits zugegeben, dass unter gewissen Umständen die Befeuchtung der Luft zweckmässig ist. In der ersten Auflage dieses Buches (1860) habe ich nach den im Wesentlichen ebenso wie hier gegebenen theoretischen Mittheilungen über absolute und relative Feuchtigkeit den Rath ertheilt, auf die künstliche Erzeugung von Feuchtigkeit zu verzichten. Hierzu sah ich mich dadurch veranlasst, dass man häufig die Luftbefeuchtung in extremer und

damit nachtheiliger Weise zu steigern suchte und kein handliches, praktisches Hygrometer besass, um die relative Feuchtigkeit der Zimmer zu controliren und sie danach zu reguliren. Das länger bekannte August'sche Psychrometer, ein an sich vortreffliches Instrument, welches jedoch selbst von Gelehrten oft nicht richtig benützt wird, eignet sich für vorliegenden Zweck zu wenig, ist früher auch kaum bei Luftheizungen in Anwendung gekommen.

Heute ist das anders; es sind Instrumente und Apparate erfunden, welche die Controle und Regulirung der Luftbefeuchtung in erwünschtem Grade und in einfacher Weise gestatten. Wo man aber die Wasserverdampfung nicht nach den jeweiligen Verhältnissen regulirt, halte ich es auch heute noch für besser, sie ganz zu unterlassen.

Indessen geht aus den Mittheilungen in §. 273 hervor, dass bei jeder Heizung mit ausgiebiger Ventilation die Zimmerluft in bedeutendem Grade relativ trocken werden kann. Es sind demnach auch die Klagen über Austrocknung bei Ventilationsheizungen mitunter begründet, wo nicht für entsprechende Befeuchtung der Zimmerluft gesorgt wird.

Allein die Furcht vor den austrocknenden Wirkungen speciell bei der Luftheizung ist unbegründet, da eben schon auf der gegebenen rein theoretischen Grundlage angenommen werden kann, dass es möglich ist, der Heiz- oder Ventilationsluft eine reichliche Wassermenge mitzutheilen. Durch die Praxis ist dieses in solchem Masse bestätigt, dass in vielen Fällen sogar Klagen über zu feuchte Luft vollkommen begründet sind. Die relative Feuchtigkeit der Zimmerluft beträgt nachweislich bei der üblichen Wasserverdampfung oft 70 bis 85 Procent der Sättigungsmenge, während sie nach meinem Dafürhalten nicht über 60 Procent steigen sollte. Dieses liegt jedoch nicht in einer Schwierigkeit der Regulirung, sondern folgt mitunter aus der Absicht, des Guten möglichst viel zu thun, und mehr noch aus der Verschiedenheit der Ansichten, welcher Feuchtigkeitsgrad der am besten geeignete sei.

Die individuelle Empfindung, namentlich die, wenn auch unwillkürlich, von einem gewissen Vorurtheil beeinflusste, ist ein sehr unsicherer Massstab. Den sichersten Massstab wird die Luftbeschaffenheit im Freien abgeben, aber nicht die mittlere Feuchtigkeit eines Jahres oder Sommers, da die Nachtluft und ebenso die Morgen- und Abendluft sehr häufig in Bezug auf Temperatur und relative Feuchtigkeit uns keineswegs behagt, sondern nur die mittlere Luftbeschaffenheit an einem geschützten schattigen Orte im Sommer zu den mittleren Tageszeiten, weil da die Luft in der Regel angenehm ist und den hygienischen Anforderungen am besten entspricht.

Professor Dr. Alexander Müller in Berlin machte aus den Sommern 1876 und 1877 nach den Beobachtungen der meteorologischen Station eine Zusammenstellung, nach welcher die Luft im Mittel von 24 Stunden zwischen 60 und 80 Procent relative Feuchtigkeit hatte. *)

Dabei haben die Beobachtungen zu den Mittagszeiten bei weitem überwiegend die relative Feuchtigkeit geringer als 60 Procent ergeben, und zwar bis auf 34 Procent herab bei 15 bis 20° C. und bei höheren Temperaturen sogar bis auf 22 Procent herab. Diese Beobachtungen dürften es auf's Neue rechtfertigen, dass ich auf meinem Procent-Hygrometer (S. 160) die Scalastrecke von 40 bis 60 Procent mit „Normal" bezeichnet und damit auch 60 Procent der Sättigungsmenge als die äusserste Grenze der Luftbefeuchtung und noch 40 Procent als zulässig angenommen habe. Manche wollen diese Grenzen um 10 oder 20 Procent gegen den Sättigungspunkt rücken und dieses damit begründen, dass während des Sommers in Zimmern wie im Freien die relative Feuchtigkeit zuweilen 70 bis 80 Procent betrage und man sich dabei wohl befinde. Mit meinen eigenen Wahrnehmungen stimmt dieses nicht überein; angenommen aber auch, es wäre bei den meisten Personen zutreffend, so müssen doch in unseren geheizten Wohnräumen noch andere Rücksichten zur Geltung gelangen. Gesetzt, in ein Zimmer, dessen Wände die Temperatur 8 bis 10° C. haben, ströme die Heizluft, welche in der Heizkammer so weit befeuchtet worden ist, dass für eine Temperatur von 20° C. ihre relative Feuchtigkeit 70 Procent beträgt. Dann enthält 1 cbm dieser Luft ungefähr $0,7 \times 17 = 11,9$ g Wasser. Kühlt sich diese Luft an den kälteren Wänden auf 10° ab, so müssen sich aus jedem cbm Luft über 2 g Wasser daselbst niederschlagen, weil der Raum von 1 cbm bei 10° C. nicht viel mehr als 9 g Wasser enthalten kann. Gleiches geschieht auch nach Erlöschen des Feuers in Folge der Abkühlung der Wände; eine bedeutende Abkühlung der Aussenmauern kann aber schon in einigen Nachtstunden erfolgen.

Besonders schlimm verhalten sich in dieser Beziehung Zimmer, welche man nicht direct und täglich heizt, sondern nur zuweilen durch Oeffnen einer Thür aus einem geheizten Zimmer ein wenig erwärmen will, oder in welche wegen undichten Thürschlusses viel feuchte warme Luft eindringt. Man bemerkt zwar das niedergeschlagene Wasser selten, weil es schnell von den hygroskopischen Substanzen der Wände aufgesaugt und weiter geleitet wird. Doch ist die schädliche Wirkung dess-

*) Bericht über die Untersuchung der Heizungs- und Ventilations-Anlagen in den städtischen Schulgebäuden. Berlin 1879. S. 15, 49 ff.

halb nicht geringer. Es entstehen feuchte Wände, zum Theil mit Schimmelbildung behaftet, gewisse Bautheile und Utensilien werden ruinirt, die Gesundheit der Bewohner wird gefährdet. Es ist überdies anzunehmen, dass an den feuchten Wänden die mit dem Respirations- und Perspirationswasser aus dem menschlichen Körper ausgeschiedenen organischen Substanzen sich in Menge festsetzen und daselbst alsbald in Fäulniss übergehen. Daraus erklärt sich wohl vorzugsweise die häufig bemerkbare Zunahme des schlechten Geruchs in geschlossenen Schulzimmern u. dgl. zu Zeiten der Nichtbenützung, und es folgt hieraus, dass man die Zimmerluft eher zu trocken als zu feucht erhalten soll.

Zwar wollen manche Personen, namentlich Lehrer, bei einer relativen Feuchtigkeit von weniger als 60 oder 64 Procent bei längerem Sprechen eine lästige Trockenheit der Sprech- und Athmungsorgane und das Bedürfniss, öfters zu trinken, empfunden haben. Jedenfalls ist eine solche Empfindung, sowie das Gefühl der Behaglichkeit überhaupt individuell verschieden.

Die meisten Physiologen nehmen eine mittlere Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit als normal an; ich persönlich fand immer eine relative Feuchtigkeit von etwa 64 Procent entschieden unbehaglicher als eine solche von 40 bis 50 Procent, und das auch bei mehrstündigem Sprechen. Wer sich in feuchter Luft wohler befindet, mag mehr befeuchten, jedoch nicht im Uebermasse. Die Luftbefeuchtung sollte immer nach Hygrometerbeobachtungen regulirbar sein und regulirt werden; denn ausser den erwähnten veränderlichen Umständen sind folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

1) Der Wassergehalt der äusseren Luft ist sehr veränderlich; er wechselt im Winter oft rasch von 0,4 bis 9 g in 1 cbm Luft.

2) Das Bedürfniss der Luftbefeuchtung ändert sich mit der Anzahl der in einem Raume anwesenden Personen, indem ein Erwachsener durchschnittlich ungefähr 50 g Wasser stündlich durch Respiration und Perspiration ausscheidet (§. 98).

3) Durch die Fugen der Fenster und Thüren und durch andere zufällige Oeffnungen eines Zimmers findet eine Diffusion des Wasserdampfes statt, sowie in den hygroskopischen Baumaterialien eine Transmission der Feuchtigkeit. Da die relative Feuchtigkeit der kalten Aussenluft im Winter gewöhnlich grösser ist als die der warmen Zimmerluft, so erfolgt vorwiegend eine Diffusion und Transmission der Feuchtigkeit von Aussen nach Innen. Aehnliches gilt auch für die Heizkammerluft in Rücksicht auf die feuchteren Kellerräume und Fundamentmauern, sowie für die Luftkanäle, wenn solche nicht aus glasirtem

oder für die Feuchtigkeit undurchdringlichem Material bestehen, wie bereits früher angegeben.

4) Alle hygroskopischen Umgrenzungskörper unserer Zimmer nehmen viel Feuchtigkeit auf, wenn die relative Luftfeuchtigkeit wächst und geben sie bei zunehmender Lufttrockenheit wieder ab; sie bilden ein grosses Reservoir der Feuchtigkeit und zugleich in gewissem Grade einen Regulator des hygrometrischen Zustandes der Zimmerluft.

Die quantitative Bestimmung aller dieser Einflüsse ist kaum annähernd möglich; sie aber zu berücksichtigen ist in sofern wichtig, als sie erkennen lassen, dass es nicht zweckmässig ist, ein bestimmtes Wasserquantum pro Tag oder Stunde zu verdampfen, wie es mitunter geschieht, oder wenigstens oft geschehen ist. Man hat für ein gewisses grosses Ventilationsquantum unter der extremen Annahme einer äusseren Temperatur von — 20° C., also einer sehr geringen absoluten Feuchtigkeit der Aussenluft, berechnet, wie viel Wasser in der Heizkammer verdampft werden muss, damit die Heizluft für die Zimmertemperatur von + 20° C. zur Hälfte oder mehr mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Dann wurden grosse Verdampfungsapparate mit selbstthätiger Wasserfüllung, — auch Verdampfungskessel mit Separatfeuerung — für die Heizkammer construirt, welche die Verdampfung der berechneten Wassermenge ermöglichen, und in der Heizinstruction wurde vorgeschrieben, dass die Verdampfungsapparate in Thätigkeit sein sollten, so lange geheizt werde. Das ist offenbar unrationell. Man möge die Verdampfungs-Apparate in der erwähnten Weise berechnen, sie werden dann für alle Fälle reichlich genügen; aber man soll sie ausser Thätigkeit setzen, wenn das Hygrometer in den Zimmern mehr als 60 Procent zeigt.

Man möge auch bedenken, dass unnöthige Wasserverdampfung unnöthige Mehrkosten für Brennmaterial veranlasst. Geschieht die Verdampfung zwischen 50 und 100° C., so sind im Mittel ungefähr 550 Wärme-Einheiten als Verdampfungswärme für jedes Liter des zu verdampfenden Wassers aufzuwenden. Mit dieser Wärmemenge könnten fast 400 cbm Luft um 5° C. höher erwärmt werden. Welche Verschwendung ist es also, wenn täglich so viele Liter, wie es zu geschehen pflegt, unnöthig verdampft werden! Vielleicht könnte entgegnet werden, dass die aufgewendete Verdampfungswärme grösstentheils durch Condensation an die geheizten Räume wieder abgegeben werde. Aber soweit diese Condensation an den Fenstern stattfindet, geht jene Wärme fast gänzlich verloren, und wenn sich das Wasser an den Wänden und anderen Gegenständen der Zimmer niederschlägt, sind die Folgen schlimmer als Verschwendung.

§. 275.

Luftbefeuchtungs-Apparate.

Aus den beiden vorigen Paragraphen geht hervor, dass weder im Allgemeinen, noch für bestimmte Aussentemperaturen vorgeschrieben werden kann, wie viel Wasser verdampft werden muss, um die Zimmerluft in den richtigen Grenzen der relativen Feuchtigkeit zu erhalten. Folglich ist entweder die Luftbefeuchtung mit einfachen Verdampfungs-Apparaten nach Massgabe des jeweiligen Hygrometerstandes der Zimmer in Gang zu setzen und zu unterbrechen, oder es sind Verdampfungsapparate anzuwenden, welche sich selbst reguliren, jedoch nicht nach der absoluten oder relativen Feuchtigkeit oder Temperatur der Aussenluft, sondern nach der relativen Feuchtigkeit der Zimmerluft.

Für letzteren Zweck ist eine neueste Erfindung, H. Rietschel's patentirter selbstregulirender Luftbefeuchtungs-Apparat, geeignet, bei welchem ein Hygrometer als selbstthätiger Regulator der Feuchtigkeit dient.*) Das Princip des Apparates besteht darin, dass ein besonders construirtes Haarhygrometer (der hygroskopische Schlüssel), sobald der gewünschte Feuchtigkeitsgrad unterschritten wird, einen elektrischen Strom schliesst, indem durch die Verkürzung zweier trockener werdenden Haare, welche durch kleine Uebergewichte doppelarmiger Hebel gespannt sind, die Hebel auf der einen Seite mit ihren Enden sich berühren, wobei der Strom mit Hülfe eines Elektromagnets ein Ventil (das elektromagnetische Ventil) öffnet, welches dann Wasser in fein vertheiltem Zustande oder Dampf ausströmen lässt. Während in Folge dessen die Luft des betreffenden Raumes feuchter wird, verlängern sich die Haare und öffnen den elektrischen Strom, wodurch der Schluss des Ventils erfolgt.

Die Anordnung des Apparates ist nach Anweisung des Erfinders folgende: Bei Luftheizung wird in einem der zu heizenden Räume der hygroskopische Schlüssel aufgestellt (möglichst in der Nähe der Fenster) und auf den gewünschten Feuchtigkeitsgrad eingestellt. Zwei Kupferdrähte gehen von dem Schlüssel nach dem Souterrain, der eine verbindet sich mit der Batterie (3 Meidinger-Elemente), der andere mit dem elektromagnetischen Ventil. Letzteres ist wieder mit

*) Dargestellt und beschrieben in Dingler's Journal 1880, Band 235. S. 113; mit einigen neuesten Verbesserungen in Zetzsche's elektro-technischer Zeitschrift 1880, 2. Heft.

dem andern Pol der Batterie in Verbindung gebracht. Das elektromagnetische Ventil ist in der Nähe der Heizkammer angeordnet, die Zerstäuber, deren Anzahl je nach der Grösse und Anzahl der zu heizenden Räume zu bemessen ist, befinden sich in der Heizkammer. Für Anwendung der Zerstäuber ist eine Wasserleitung vorausgesetzt. Ein solcher Zerstäuber besteht aus einer Röhre mit einer feinen aufwärts gerichteten Oeffnung, aus welcher das Wasser gegen eine Platte emporspritzt, wo es in Staubform zertheilt wird. Tropfwasser wird durch eine Schale aufgefangen und abgeführt. Bei Anwendung von Dampf strömt dieser direct vom Ventil durch eine Röhre in die Heizkammer.

Dieser selbstthätige Luftbefeuchtungs-Apparat lässt sich in gleicher oder ähnlicher Weise bei den verschiedenen Combinationen der Luftheizung, Wasserluftheizung, Dampfluftheizung benützen, sowie bei anderen Ventilationsweisen, und zwar nicht allein als Central-Luftbefeuchtungsapparat, sondern auch in einzelnen Zimmern, wo alsdann der Zerstäuber in einem Lufteinführungsgehäuse, einem verticalen Blechcylinder, einer Einströmsäule u. dergl. anzubringen wäre. Das ist ein Umstand von um so grösserer Wichtigkeit, als es nicht immer empfohlen werden kann, mit der Centralheizung die Centralbefeuchtung zu vereinigen. So wäre es beispielsweise unzweckmässig, in einer Lehranstalt die Luft ebenso feucht, wie in das Zimmer des Rectors auch in die Schulsäle zu führen, bei Fabriken keinen Unterschied zu machen zwischen den Arbeitssälen und dem Directionslocal u. s. w. In meinem Wohn- und Arbeitszimmer musste öfters Wasserverdampfung angewendet werden, um dem Hygrometerstand nicht unter 40 Procent sinken zu lassen, in den Schlaf- und Kinderzimmern sehr selten, obgleich alle Zimmer aus derselben Heizkammer geheizt und ventilirt werden. Auf diesen Umstand glaube ich zuerst hingewiesen zu haben; wenigstens ist mir keine dahin zielende Publication aus der Zeit vor der Construction meiner Local-Befeuchtungsapparate bekannt geworden.

Da der Rietschel'sche Apparat eine verständige und sorgfältige Behandlung verlangt, die nicht immer vorausgesetzt werden kann, da er ferner, namentlich für die Anwendung in einzelnen Zimmern, etwas kostspielig ist, auch das Vorhandensein einer Wasserleitung oder eines Dampferzeugungs-Apparates voraussetzt, ist seine Anwendung nicht überall gut möglich. Desshalb sind hier noch andere Luftbefeuchtungsapparate anzugeben*).

*) Einrichtungen von Kelling, Reinhardt, Rietschel und Henneberg, Fischer und Stiehl habe ich im Anhang zu „Staebe's Preisschrift über die zweckmässigsten Ventilationssysteme“ mitgetheilt.

Für Centralbefeuchtung ist bei Luftheizung gewöhnlich ein nahe über dem Ofen angebrachtes geräumiges Wassergefäss, verbunden mit einem ausserhalb der Heizkammer befindlichen Fülltrichter, wie in §. 230 (Fig. 310, 311 und 318) angedeutet ist, eine geeignete Vorrichtung. Um jederzeit den Wasserstand leicht zu erkennen, soll der Fülltrichter aus Glas bestehen, oder es soll eine damit communicirende Röhre als Wasserstandsglas vorhanden sein.

Eine gleiche oder ähnliche Einrichtung kann auch bei manchen Stubenöfen in Anwendung kommen (§. 222, Fig. 290, 291).

Die Aufstellung einer Vase mit Wasser auf dem Ofen oder an der Mündung eines Warmluftkanals bewirkt durchschnittlich kaum so viel Luftbefeuchtung, wie die Anwesenheit einer einzigen Person, ist also, wo überhaupt die Luft zu trocken geworden ist, ungenügend. Durch mehrjährige Beobachtungen habe ich gefunden, dass in meinem Wohnzimmer von 75 cbm bei gewöhnlicher Benützungsweise (Anwesenheit von durchschnittlich zwei Personen), guter Erwärmung und Ventilation, die stündliche Verdampfung von ungefähr 200 g Wasser, d. i. 1 Liter Wasser für 5 Stunden, an sehr kalten Tagen zweckmässig aber auch ausreichend war, um die Luftfeuchtigkeit auf 40 bis 50 Procent der Sättigung und überhaupt in angenehmer Beschaffenheit zu erhalten. Nach den Berechnungen auf Grund der Temperaturen und der Feuchtigkeitscapacität würde hierfür das zwei- bis dreifache Wasserquantum nöthig gewesen sein. Da meine Hygrometerbeobachtungen vollkommen zuverlässig waren, ist das verhältnissmässig geringe Bedürfniss künstlicher Befeuchtung offenbar den oben besprochenen regulirenden Einflüssen der Mauern u. s. w. zuzuschreiben, die vielleicht anderwärts sich weniger geltend machen, da solche nach der Situation, Höhenlage, Bodenbeschaffenheit, dem Baumaterial und den Mauerdicken verschieden sind.

Für Local-Befeuchtung habe ich einige Apparate construirt und erprobt, von welchen namentlich erwähnenswerth sind: die Luftbefeuchtungsrosette und das Luftbefeuchtungsrädchen, welche Vorrichtungen im Folgenden beschrieben werden.

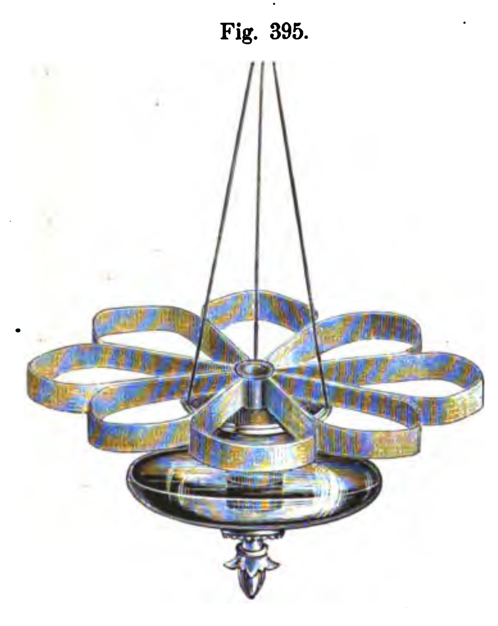
I. Die Wolpert'sche Luftbefeuchtungsrosette. (Fig. 395.)

Sie wird in horizontaler Lage angewendet und besteht aus Blechstreifen, welche mit gut hygroskopischen Baumwollfäden umsponnen sind und mit den umgebogenen Enden in ein Wassergefäss reichen.

Diese Vorrichtung eignet sich vorzugsweise bei verticalen Luftströmen, also bei Ventilations-Zimmeröfen, und zwar in Ver-

bindung mit einer auf den Ofen gestellten Vase oder mit einer über dem Ofen aufgehängten Ampel. Solche Gefässe sollen von Glas sein, damit man den Wasserstand darin leicht erkennen kann; sie sollen weitbauchig sein, damit man nicht zu oft nöthig hat, Wasser nachzufüllen; sie sollen enghalsig und schmalrandig sein, damit die Luftströmung möglichst viele Theile der Rosette trifft*).

Fig. 395.



Die Theorie der Luftbefeuchtungsrosette ist folgende: Nach Dalton ist die Geschwindigkeit der Verdunstung in Luft, welche Wasserdampf von der Spannung p_1 enthält, proportional der Differenz $p - p_1$ zwischen der bei der Temperatur des Wassers möglichen Maximalspannung p und der wirklichen Spannung p_1 **).

Die von einer feuchten Fläche F in der Zeiteinheit abgehende Dampfmenge $\mathfrak{D}$ (Dampfgewicht in Gramm) ist bei constant angenommenem Drucke:

$$\mathfrak{D} = \varphi F (p - p_1).$$

Sucht man die Dampfmenge für F qm in der Minute bei der Spannungsdifferenz $(p - p_1)$ mm, so ist der Coëfficient

φ bei wenig bewegter Luft ungefähr 0,55
„ „ mittelstarker Luftbewegung „ 0,7
„ „ starker „ „ 0,9

---

*) Gewöhnliche Vasen sind hierzu nicht gut geeignet. Ich habe mich lange vergeblich bemüht, Gefässe von entsprechender Form zu finden und solche nach Zeichnung in Glasfabriken ausführen zu lassen. Schliesslich ist es mir bei einer Glasfabrik im Elsass gelungen. Doch sind vorläufig nur 100 Stück der kleinsten Sorte, theils für Ampeln, theils für Vasen angefertigt worden, welche durch das Eisenwerk Kaiserslautern bezogen werden können, wie die hier genannten Gegenstände meiner Erfindung überhaupt.

**) Recknagel's Compendium der Experimental-Physik, S. 274.

Bei der Luftbewegung, wie sie über einem heissen Ventilationsofen und vor der Mündung eines Warmluftkanals vorhanden ist, kann man $\varphi = 0{,}6$ annehmen.

Ist die Temperatur der feuchten Streifen 33° C., wobei (nach S. 125) $p = 37{,}4$ mm und p_1 wegen geringer Temperatur der Aussenluft und hoher Temperatur der Heizluft sehr gering, etwa 1,4 mm wird, und ist die Oberfläche der feuchten Rosette $F' = 0{,}15$ qm, so erhält man die Verdampfungsmenge

$$\mathfrak{D} \doteq 0{,}6 \,.\, 0{,}15\,(37{,}4 - 1{,}4) = 3{,}24 \text{ g in 1 Minute,}$$

d. i. stündlich 194,4 g, wonach sich die Rosette von der angenommenen Grösse für kleine Räume eignet. Da man die Rosettenfläche F viel grösser als 0,15 qm machen kann, so ist auch bei grösseren Räumen und ungünstigeren Verhältnissen mittels einer derartigen Vorrichtung genügende Luftbefeuchtung zu erreichen. Bei sehr grossen Räumen, wo mehrere Ventilationsöfen oder Warmluftöffnungen vorhanden sind, wird man in gleicher Weise auch die Zahl der Befeuchtungsvorrichtungen vermehren.

Die mögliche Benützungsdauer einer solchen Rosette ist um so grösser, je reiner das Wasser ist; erdige und salzige Theile des Brunnenwassers schwächen mit der Zeit die Wirkung. Es ist desshalb zweckmässig, Regenwasser oder destillirtes Wasser, Condensationswasser, welches man bei Dampfheizungen leicht haben kann, anzuwenden. Die Vermuthung liegt nahe, dass die Baumwollfäden alsbald in Fäulniss übergehen und einen unangenehmen Geruch verbreiten würden. Meine Erfahrung hat diese Vermuthung nicht bestätigt; eine von mir seit mehreren Jahren häufig benützte Rosette ist noch in gutem Zustande und zeigt keine Spur von Fäulniss, hat auch niemals Geruch veranlasst.

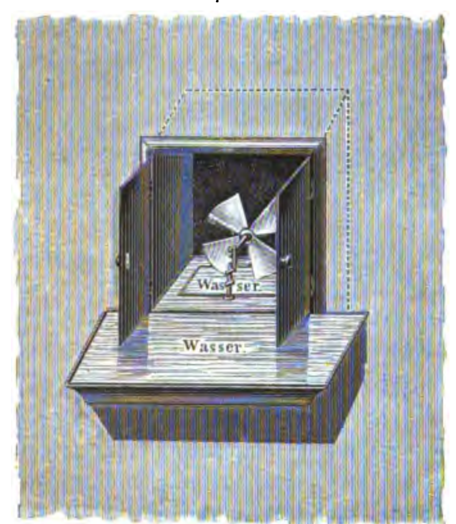
Bei Centralheizungsanlagen strömt die warme Ventilationsluft gewöhnlich durch Oeffnungen an den Wänden ein, also in horizontaler Richtung, und bewegt sich dann in einem Parabelbogen gegen die Zimmerdecke. Man könnte hierbei eine Ampel mit Rosette in dem aufsteigenden Luftstrom aufhängen, doch kann eine bestimmte Aufhängstelle nur für eine gewisse Einströmungsgeschwindigkeit die zweckmässigste sein, weil sich der Parabelbogen mit der Einströmungsgeschwindigkeit ändert. Desshalb ist für Centralheizungen, wenn nicht ausnahmsweise Einströmsäulen mit verticaler Luftführung, sondern Seitenmündungen in Anwendung kommen, folgende Vorrichtung zweckmässiger.

II. Das Wolpert'sche Luftbefeuchtungsrädchen.

(Fig. 396.)

Diese Vorrichtung wird in oder unmittelbar an der Warmluftöffnung in einem unten mit Wasser gefüllten Gehäuse angebracht. An der Radachse, welche in der Richtung des Luftstroms liegt, sind geneigt gegen den Luftstrom leichte Blechflügel befestigt, welche durch den Luftstoss in rasche Rotation versetzt werden, dabei mit ihren Spitzen in das Wasser tauchen und vermöge der Centrifugalkraft viele Wassertropfen im Gehäuse umherschleudern. Dabei wird der Luftstrom wie durch einen feinen Regen befeuchtet und ausserdem noch durch die Berührung mit der beständig nassen Gehäuswandung und mit dem Wasserspiegel.

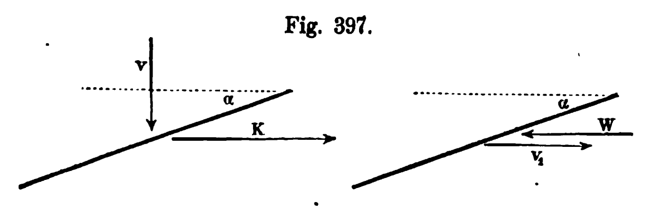
Fig. 396.



Damit die Flügelspitzen immer gleich tief eintauchen, ruht das Rädchen auf einem Schwimmergestell.

Bei einer zweckmässigen constanten Tauchtiefe soll die Rotationsgeschwindigkeit eine möglichst grosse sein; sie hängt in hohem Grade ab von dem Schrägungswinkel und der Form der Flügel.

Fig. 397.



Um theoretisch einen zweckmässigen Schrägungswinkel zu bestimmen, werde vorläufig angenommen, die Flügelflächen seien eben und es sei (Fig. 397)

K die in der Rotationsrichtung durch den Luftstoss auf die Flächeneinheit hervorgebrachte Kraft, in den Flügelschwerpunkten concentrirt gedacht;
W der dieser Kraft entgegengesetzte Luftwiderstand;
v die secundliche Geschwindigkeit des Luftstroms;
v_1 die Rotationsgeschwindigkeit der Flügelschwerpunkte;
F die gesammte Flügelfläche;
α der Schrägungswinkel, nämlich die Abweichung der Flügelstellung von der zur Windrichtung normalen Lage;
φ ein Erfahrungscoëfficient;
dann ist

$$K - W = \varphi\, F\, (v^2 \cos^2 \alpha \sin \alpha - v_1{}^2 \sin^3 \alpha).$$

Der Werth dieser Differenz soll möglichst gross werden. Im Allgemeinen kann sein

$$v_1 \lesseqgtr v \text{ oder } v_1 = \xi\, v,$$

wobei ξ irgend eine gebrochene oder ganze Zahl bedeutet.

Man kann also für obige Hauptgleichung schreiben

$$K - W = \varphi\, F v^2 (\cos^2 \alpha \sin \alpha - \xi^2 \sin^3 \alpha).$$

Betrachtet man vorläufig ξ als constant und sucht das Maximum der Function $\eta = \cos^2 \alpha \sin \alpha - \xi^2 \sin^3 \alpha$, so wird der erste Differentialquotient

$$\frac{d\eta}{d\alpha} = \cos \alpha\, [(3 + 3\, \xi^2) \cos^2 \alpha - (2 + 3\, \xi^2)]$$

und wenn dieser $= 0$ gesetzt wird,

$$\cos\, \alpha = \sqrt{\left(\frac{2 + 3\, \xi^2}{3 + 3\, \xi^2}\right)}$$

Für diesen Werth von $\cos \alpha$ wird die Function η, also auch die Differenz $K - W$ ein Maximum.

Setzt man $\xi = 0$, so wird $\alpha = 35^0\ 15'\ 52''$
" " " $= 1$ " " " $= 24^0\ 5'\ 58''$
" " " $= 2$ " " " $= 14^0\ 57'\ 48''$
" " " $= 10$ " " " $= 3^0\ 17'\ 37''$

Für das Zustandekommen der Bewegung, wenn das Rädchen in Ruhe ist, wäre also der zweckmässigste Schrägungswinkel $35^0\ 15'\ 52''$. Je mehr die Rotationsgeschwindigkeit sich bei constanter Geschwindigkeit des Luftstroms beschleunigt, desto kleiner sollte der Schrägungswinkel werden. Demnach wäre es zweckmässig, das Rädchen so zu construiren, dass die Flügelstellung von $35^0\ 15'\ 52''$ bis nahezu 0^0 mit der

beschleunigten Geschwindigkeit durch die Centrifugalkraft veränderlich wäre. Doch entspricht auch eine constante Flügelstellung dem Zweck.

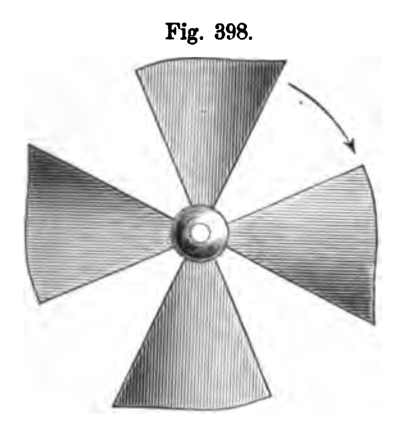
Ein sehr geringer Winkel ist für die in das Wasser tauchenden Spitzen nicht günstig, weil sie das Wasser zu leicht durchschneiden, zu wenig Wasser mit sich empornehmen, während ein zu grosser Winkel zu grossen Wasserwiderstand veranlasst.

Aus diesem Grunde sind die Flügel nicht eben, sondern mit schwacher Krümmung ausgeführt, so dass die in das Wasser tauchende Flügelspitze einen grösseren Schrägungswinkel hat, als die übrige Flügelfläche. In dieser Krümmung ist überdies die natürliche Gestalt der Flügel und Flügelfedern der Vögel nachgeahmt; sie erhöht die Steifigkeit, bewirkt Vergrösserung der Luftpressung und Verminderung des Luftwiderstandes.

Die einzelnen Flügel sind nicht symmetrisch, sondern endigen auf der einen Seite rechtwinkelig, auf der andern in einem spitzeren Winkel. (Fig. 398.)

Das Rädchen muss so in den Luftstrom gestellt sein, dass der spitze Winkel in der Drehrichtung vorausläuft. Was die Leistung eines solchen Rädchens betrifft, habe ich zu Zeiten, wo die äussere Luft sehr kalt und trocken, also auch in Folge starker Erwärmung die Einströmungsgeschwindigkeit der Heizluft bedeutend war, in einer Secunde 16 Umdrehungen eines vierflügeligen Rädchens beobachtet.

Fig. 398.



Dabei wurden 16 × 4 = 64 Wassertropfen geschleudert, in einer Stunde also 64 × 3600 = 230400 Tropfen. Das wären bei normaler Grösse der Tropfen, deren man bei freiwilliger Tropfenbildung 20 auf 1 g rechnet, über 11 $^1/_2$ Liter Wasser. Die Tropfen sind aber hier so klein, dass etwa 400 auf 1 g kommen mögen. Danach wäre die stündlich geschleuderte Wassermenge ungefähr 576 g. Ein Theil des geschleuderten Wassers fliesst an den Wandungen wieder in den Wasserbehälter hinab, dagegen erfolgt auch Verdunstung an diesen Wandungen und an der Wasseroberfläche. Durch directe Messungen habe ich die stündliche Verdampfungsmenge in einer Warmluftöffnung von 3 qdm bei gewöhnlichen Umständen von 200 bis 300 g wechselnd gefunden, doch

unter günstigen Umständen bei sehr rascher Rotation auf $^3/_4$ Liter oder 750 g anwachsend.

Die Grösse des Flügelrades war hierbei von geringem Einfluss, was sich auch theoretisch leicht erklären lässt.

Hieraus folgt, dass es bei sehr grossen Räumen zweckmässig ist, die Luftbefeuchtungsrädchen, also auch die Warmluftöffnungen in geringer Grösse aber grösserer Anzahl anzubringen. Eine grössere Oeffnung als 30 cm im Quadrat ist nicht mehr zweckmässig, weil da der Luftstrom leicht über dem kleinen Rädchen hinweg geht, ohne es in rascher Drehung zu versetzen.

Wo ein grösserer Querschnitt nöthig ist, bringt man entweder einige Oeffnungen an verschiedenen Stellen an, oder man theilt eine etwa 30 cm hohe und entsprechend breitere Oeffnung durch verticale Blechwände im Gehäuse in mehrere Oeffnungen.

Die Luftgeschwindigkeit ist in den meisten Fällen, besonders wenn der Luftstrom in der Mauer nahe an der Mündung eine seitliche Richtungsänderung erleidet, an einer Seite der Oeffnung grösser als an der anderen. Um das Rädchen nach Belieben in der stärkeren oder schwächeren Strömung erhalten zu können, dient ein einfaches Führungs- oder Leitgestell von Zinkblech, durch welches man zugleich das Rädchen möglichst weit vom vorderen Rande der Oeffnung entfernt halten kann, um die Wirkung zu vermehren und das Herausspritzen grösserer Wassertropfen zu vermindern, was mitunter vorkommt, wenn die Flügel etwas tief eintauchen.

Die Wasserwanne ist 5 bis 6 cm hoch; dadurch und durch das Gehäuse überhaupt wird der Oeffnungsquerschnitt verengt, worauf Rücksicht zu nehmen ist, indem man der berechneten Oeffnungsweite 1 cm in der Breite und 6 cm in der Höhe zugibt, so dass beispielsweise die Oeffnung eines Hausteingestells für 30 . 30 cm nützlichen Querschnitt 31 cm breit und 36 cm hoch zu machen wäre.

Die Verdampfung regulirt sich bei den zwei genannten Vorrichtungen in gewissem Grade von selbst nach der Trockenheit, Temperatur und Geschwindigkeit der mit den feuchten Flächen in Berührung kommenden Luft. Bei grosser Kälte, die gewöhnlich mit grosser Trockenheit der Aussenluft vereint ist, wird die Heizluft auch mehr erwärmt und mit grösserer Geschwindigkeit in die Räume eingeführt. Bei dem Luftbefeuchtungsrädchen steigert sich mit dieser Geschwindigkeit auch die Menge des geschleuderten Wassers. Solche Selbstregulirung erfolgt jedoch nicht in dem Verhältniss, dass die Controle mittels des Hygrometers überflüssig wäre. Wenn man, was im Allgemeinen anzurathen,

die Luftfeuchtigkeit in Zimmern nicht über 60 Procent der Sättigungsmenge steigen lassen will, findet man sich häufig durch den Hygrometerstand veranlasst, das Nachfüllen von Wasser zu unterlassen.

Die Benützungsweise des Luftbefeuchtungsrädchens ist einigermassen von der Construction des Schwimmers abhängig. Eine dicke Korkplatte wirft sich stark, wenn sie im Wasser liegt und oben trocken ist. Ich habe desshalb zuerst zwei dünnere Korkplatten mit Messingstiftchen verbunden und durch ein dazwischen gelegtes hochkantiges Messingrähmchen zu versteifen gesucht. Die Korkplatten verzogen sich dennoch innerhalb eines Jahres. Eine dicke, oben und seitlich in Messing gefasste Korkplatte hat sich gut bewährt; doch ist es hierbei, wie bei kygroskopischen Schwimmern überhaupt, nothwendig, das Rädchen zuweilen höher oder tiefer zu schrauben. Ein auf einem Korkschwimmer ruhendes Rädchen, welches am ersten Tage der Benützung nach Wunsch Wasser zerstäubt, taucht nach einigen Tagen, wenn der Schwimmer im Wasser bleibt, so tief ein, dass der Widerstand gegen die Drehung zu gross wird. Und wenn jetzt das Rädchen für das Schwimmergewicht richtig gestellt wird, geht es, nachdem der Schwimmer einige Zeit trocken gestanden, über dem Wasser weg, ohne solches zu schleudern. Ich habe desshalb auch Schwimmer aus Messingröhren anfertigen lassen; allein es hat sich gezeigt, dass diese leicht undicht werden, Wasser schlucken und sinken. Nach diesen Erfahrungen bin ich im Zweifel, welche Schwimmer ich mehr empfehlen soll. Die in Messing gefassten Korkschwimmer sind gewiss dauerhafter, aber man darf es sich nicht verdriessen lassen, die Stellung des Rädchens zu corrigiren, wenn es nicht gut schleudert.

Diese Correctionsarbeit ist in einigen Minuten ausführbar und nicht schwierig. Man bringt den Schwimmer sammt Rädchen in eine Schüssel mit Wasser, taucht den Schwimmer einigemal unter, damit er auch oben benetzt wird, und beobachtet, indem man das Rädchen langsam dreht, ob die Flügelspitzen entsprechend in das Wasser eintauchen. Eine sehr geringe Tauchtiefe genügt, eine grössere kann zu viel Hemmung oder Herausspritzen zu grosser Tropfen veranlassen. Man kann sich sogleich überzeugen, ob die Flügel das Wasser in kleinen Tropfen gut schleudern, indem man gegen die matte Flügelseite, welche immer dem Luftstrome zugekehrt sein soll, nur mit dem Munde oder mit einem engen Röhrchen, etwa einer Federspule, bläst. Mittels der Schrauben an den Ständern kann man die Flügelachse nach Bedürfniss heben und senken und so die beste Einstellung für den jeweiligen Nässezustand des Korkschwimmers erreichen.

Bei den Röhrenschwimmern bleibt, so lange sie unversehrt sind, die Tauchtiefe so weit gleich, dass eine Veränderung an der einmal richtigen Flügelhöhe nicht vorzunehmen ist.

In manchen Localen steht der Anwendung des Luftbefeuchtungsrädchens der Umstand entgegen, dass die Drehung des Rädchens Geräusch verursacht. Dieses Geräusch ist jedoch kein zu lautes und unangenehmes; man gewöhnt sich daran ebenso, wie an das Ticken einer Wanduhr oder das Schnurren eines Spinnrades, und man findet es ebenso gemüthlich, vermisst es alsbald sogar ungern. Sollte das Geräusch zuweilen unangenehm pfeifend werden, so kann man mittels eines Oeltropfens abhelfen.

Bei der nothwendigen Leichtigkeit des Rädchens ist die Befürchtung gerechtfertigt, dass es nicht dauerhaft sei, leicht beschädigt und unbrauchbar werde. Ich habe seit mehreren Jahren dieselben Rädchen in Benützung, ohne dass sie in ihrer Leistungsfähigkeit nachgelassen haben. Kommt durch eine Unachtsamkeit einmal das Verbiegen eines Flügels vor, so lässt er sich leicht wieder in die richtige Lage bringen.

Es mag noch beigefügt werden, dass man die Luftbefeuchtungsrädchen auch als Anemoskope benützen kann, um an den Kanalmündungen der abfliessenden wie einströmenden Luft die Richtung der Luftbewegung sowohl, wenn sie nicht zu gering ist, als auch die Zunahme und Abnahme der Geschwindigkeit zu erkennen. In der Wasserwanne setzt man dabei zweckmässig den Schwimmer auf das umgekehrte Führungsgestell, welches so als Tischchen dient.

§. 276.

Einfluss der Luftbewegung auf das Trockenheitsgefühl. Xerometerbeobachtungen.

Der Umstand, dass schon in früheren Zeiten, als man sich mehr wie in neuerer Zeit der Circulations-Luftheizung bediente und bei der Ventilations-Luftheizung sich mit geringerem Luftwechsel begnügte, die Luftheizung der Austrocknung beschuldigt wurde, gleichviel ob man mit Circulation oder mit Ventilation heizte, hat mich bei dem Suchen nach einer Erklärung des Sachverhaltes auf die Vermuthung geführt, dass die mit der Luftheizung verknüpfte Luftbewegung die Ursache der Klagen sein könnte. Darüber habe ich alsdann in der ersten Auflage dieses Buches (S. 250) Folgendes gesagt:

„Durch die bewegte Luft wird, wenn sie über einen feuchten Gegen-

stand, über unseren Körper hinfliesst, beständig die demselben zunächst liegende, schon einigermassen mit Wassergas gesättigte Luftschicht verdrängt oder mit fortgerissen, was offenbar die Verdunstung beschleunigen muss, weil die uns umgebende Luft die Feuchtigkeit des Körpers um so rascher aufnimmt, je weniger Feuchtigkeit sie schon aufgenommen hat. Gleichwie aber, wenn wir mit dem Munde auf die feuchte Hand blasen, diese Beschleunigung des Verdunstens sogar durch die ausgeathmete, jedenfalls wassergasreiche Luft in Folge der Bewegung dennoch gefördert wird, in ähnlicher Weise kann auch durch eine starke Luftbewegung bei der Luftheizung der Verdunstungsprocess aus allen unseren Hautgefässen beschleunigt werden, und das auch noch bei künstlicher Befeuchtung der Luft. Befinden wir uns ruhig in ruhiger Luft, so umgibt unseren ganzen Körper eine Luftschicht, die mehr mit Wassergas gesättigt ist, als die Luft in grösserer Entfernung. Wird nun durch Bewegung der Luft diese feuchtere Luftschicht beständig weggeführt, so kann wohl dadurch schon ein Trockenheitsgefühl entstehen. Mit diesem Gefühle der Trockenheit paart sich das Gefühl der Kälte, weil bei der Verdunstung Wärme gebunden, Kälte erzeugt wird. In bewegter Luft fühlen wir desswegen immer eine geringere Temperatur, als die, welche uns das Thermometer zeigt, oder als die, welche wir bei demselben Thermometerstande in ruhiger Luft fühlen.“

Später habe ich durch viele Beobachtungen der relativen Feuchtigkeit und der Bewegungen der Luft in Zimmern bei verschiedenen Heizmethoden mit und ohne Ventilation sowie unter verschiedenen Umständen im Freien die Ueberzeugung gewonnen, dass eine für die Gesundheit nachtheilige oder für das Gefühl unangenehme Wirkung durch die Luftbewegung in geschlossenen Räumen auch bei sehr reichlichem Luftwechsel nicht entsteht, habe desshalb im Jahre 1874*) erklärt, dass ich jene Hypothese als irrthümlich betrachte, und habe beigefügt, dass die im Ganzen milde Luftbewegung die Zimmerluft der angenehmen Sommerluft im Freien, wo es ja niemals vollkommene Windstille gibt, nur noch ähnlicher macht.

Oberingenieur Paul in Wien**) zieht aus seinen Beobachtungen und Berechnungen den Schluss, dass die winzige Geschwindigkeit der

*) Deutsche Bauzeitung 1874, Nr. 27, S. 108.

**) Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, 1878, Heft X und XI, S. 166.

Luftbewegung im Zimmer mit der im Freien vorkommenden Luftbewegung nicht zu vergleichen sei, und dass sie wegen ihrer Kleinheit dem Organismus weder schaden noch nützen könne, sondern sich gänzlich indifferent gegen denselben verhalten müsse.

Worauf es hier ankommt, ist bei dieser Anschauung wie bei der meinigen das, dass die in Folge der Heizung mit Zuführung warmer Luft nach dem Princip der Luftheizung, sei es Ventilations- oder Circulationsheizung, vorhandene Luftbewegung als Ursache von Klagen nicht angenommen werden kann.

Ich trage kein Bedenken, Paul's Behauptung als die wahrscheinlich richtigste anzuerkennen, da in der That die Luftbewegung in Zimmern winzig ist, und weil überdies an dem warmen menschlichen Körper beständig die ihn unmittelbar umgebende Luft emporsteigt, also bei keiner Art der Heizung die Rede davon sein kann, dass den Körper ruhige Luft umgebe. Die Geschwindigkeit des Emporfliessens ist grösser als die Geschwindigkeit der durch Heizung und Ventilation in einem Zimmer veranlassten Luftbewegung, abgesehen natürlich von den Stellen in der Nähe der Luftöffnungen und an kalten Aussenwänden, wo sich indessen Niemand aufzuhalten braucht. Dazu kommt noch der Umstand, dass in Bezug auf die eingeathmete Luft nur die relative Feuchtigkeit ohne Rücksicht auf die geringe Luftbewegung in Frage kommen kann, und der Einfluss der geringen Luftbewegung auf die Abdunstung an der Körperoberfläche durch die Bekleidung noch in solchem Grade abgeschwächt wird, dass sie bedeutungslos werden muss.

In neuester Zeit wird aber wieder die Ansicht genährt, dass die Luftheizung durch die Luftbewegung ein erhöhtes Trockenheitsgefühl hervorbringe, und dass man aus diesem Grunde die Luft bei einer solchen Heizmethode viel feuchter halten müsse als bei einer anderen. Man pflegt dabei von der allbekannten Thatsache auszugehen, dass nasse Wäsche bei Wind schneller trocknet als bei ruhiger Luft, was ein Beispiel zu den von mir 1860 aufgeführten und vorhin wiederholten Sätzen, aber als extrem im vorliegenden Falle nicht anwendbar ist, wie aus dem eben Gesagten hervorgehen wird.

Immerhin interessant sind Untersuchungen über den Einfluss der Luftbewegung auf die Grösse der Verdunstung von einer feuchten Fläche; vielleicht möchte man ihnen auch einige praktische Wichtigkeit bei Heizungs- und Ventilationsanlagen einräumen, da möglicher Weise die Luftbewegung auf die unbedeckten Theile des Körpers, auf Kopf und Hände, einigen Einfluss ausüben könnte. Ergeben sich negative Resultate, so sind diese nicht minder wichtig und den Hauptzweck fördernd.

Ein Instrument, welches dazu dient, Versuche über die Geschwindigkeit der Verdunstung unter verschiedenen äusseren Umständen zu machen, oder die Wassermenge zu bestimmen, welche von einer gegebenen Fläche in bestimmter Zeit abdunstet, hat Prof. Dr. Alexander Müller in Berlin, als Mitglied der wissenschaftlichen Commission, welche im October 1876 von dem Berliner Magistrat damit betraut worden war, die Heizungs- und Ventilations-Einrichtungen in den dortigen Schulen zu untersuchen, für die Anwendung bei jenen Untersuchungen construirt; er hat dem Instrumente den Namen Xerometer, d. i. Trockenheitsmesser gegeben*).

Dieses Xerometer ist in Fig. 399 dargestellt. Eine dünne Glasröhre ist mit einer Scala von beliebiger aber gleichmässiger Theilung versehen, deren Nullpunkt am unteren Ende liegt. Unter dem Nullpunkte erweitert sich das Glasröhrchen zu einer weiten birnförmigen Blase, welche am unteren Ende in eine hohle Kugel übergeht. Am oberen Ende trägt das Glasröhrchen an einem lose eingesteckten Zäpfchen eine von Glimmer gefertigte Scheibe, welche als Unterlage für eine gleich grosse Scheibe von gutem mitteldickem Filtrirpapier dient. Die Blase ist mit Luft gefüllt, welche durch das Röhrchen mit der Aussenluft communicirt, was jedoch unwesentlich ist. Die Kugel ist zum Theil mit Quecksilber gefüllt, wodurch das Instrument so justirt ist, dass es in dem beschriebenen Zustande, nämlich nach Auflegung der trocknen Papierscheibe, in einen mit Wasser gefüllten schmalen hohen Glascylinder annähernd bis zum Nullpunkt der Scala schwimmend eintaucht. Wird das Fliesspapier mit destillirtem Wasser angefeuchtet, so sinkt das Xerometer entsprechend dem Gewichte des aufgeträufelten Wassers bis zu einem Grade, welcher sich an der Scala des Glasröhrchens ablesen lässt. Während der Verdunstung des Wassers von der Papierscheibe hebt sich die Scala allmählich über den Wasserspiegel.



Fig. 399.

Solche Xerometer werden geliefert von der Firma Franz Schmidt und Haensch in Berlin. Ich habe mir deren zwei kommen lassen

*) Bericht über die Untersuchung der Heizungs- und Ventilations-Anlagen in den städtischen Schulgebäuden in Bezug auf ihre sanitären Einflüsse. Berlin 1879.

Eine Abhandlung über Xerometrie von Prof. Dr. Alex. Müller enthält das Archiv der Pharmacie, 1879, Band XII, Heft 1.

mit Verdunstungsscheiben von 10 und 5 qcm Grösse*), und die damit angestellten vergleichenden Beobachtungen im Freien und in Zimmern bestätigen, dass in Zimmern auch bei starker Heizung und bedeutender Ventilation die Luftbewegung bei weitem nicht in solchem Grade auf die Verdunstung wirkt als im Freien selbst bei sogenannter Windstille und an geschützten Orten.

Ich gebe aus vielen Beobachtungen hier drei, welche für die zweckdienliche Vergleichung gut geeignet sind.

Xerometerbeobachtungen.

Nr.	Beobachtungs- Ort.	Beobachtungs- Zeit.	Temperatur Celsius.	Relative Feuchtigkeit.	Grade am grossen Xerometer.	Grade am kleinen Xerometer.
		1879.		Proc.		
	Geschützter	2. Sept. 4 Nm.	20°	60	100	100
1	Ort im Freien	5 „	20°	60	39	63
	(Veranda)	6 „	19°	68	3	39
	Wohnzimmer	17. Dec. 8 Morg.	18°	42	100	100
2	mit Ventilations-	9 „	18°	42	58	74
	Luftheizung	10 „	18°	42	20	50
	Wohnzimmer	21. Dec. 2 Nm.	20°	60	100	100
3	mit Ventilations-	3 „	20°	60	68	80
	Luftheizung	4 „	20°	60	40	63

Bei den Beobachtungen Nr. 1 in einer umlaubten Veranda meines Hausgartens war nicht die geringste Luftströmung wahrzunehmen. Dennoch war schon in einer Stunde fast genau die gleiche Wassermenge verdunstet, wie bei den Beobachtungen Nr. 3 im Zimmer mit Luftheizung bei guter Ventilation in zwei Stunden, und zwar bei der nämlichen Temperatur und relativen Feuchtigkeit der Luft.

Die Beobachtungen Nr. 2 mit jenen Nr. 3 verglichen, zeigen, dass

*) Obwohl die Verpackung mit Watte eine sorgfältige war, enthielten die beiden Xerometer nur noch so viel Quecksilber, als für eines nöthig war; das übrige Quecksilber war in der Verpackung so zerstreut, dass es nicht gesammelt werden konnte. Ich habe desshalb die Kugel des einen Xerometers mit Blei gefüllt, nämlich mit kleinen Schrotkörnern, was ebenso zweckdienlich und mit Rücksicht auf die Transportirbarkeit überhaupt der Quecksilberfüllung vorzuziehen ist.

bei geringerer Temperatur, aber auch geringerer relativer Feuchtigkeit die Verdunstung entschieden stärker war, als in demselben Zimmer bei grösserer relativer Feuchtigkeit, aber — im Hinblick auf Nr. 1 — bei weitem noch nicht so stark wie bei der grösseren relativen Feuchtigkeit im Freien.

Dass man dabei im Freien von einem Gefühl der Trockenheit belästigt worden wäre, wird wohl Niemand vermuthen; es war auch nicht im Entferntesten der Fall. Noch weniger ist also eine solche Vermuthung im Zimmer, selbst bei 18° C. und nur 42 Procent relativer Feuchtigkeit, begründet.

Dieses dürfte zu weiterer Rechtfertigung meiner öfters nach eigenen Wahrnehmungen ausgesprochenen Ansicht dienen, dass die Luft in Zimmern ein beengendes, sogar fieberhaftes Gefühl, mehr noch als drückend schwüle Gewitterluft, veranlassen kann, wenn ihre relative Feuchtigkeit grösser ist als etwa 70 Procent der Sättigung, bei manchen Personen schon zwischen 60 und 70 Procent.

Beständig muss dem Organismus ein bestimmtes Wasserquantum von seiner Umgebung abgenommen werden, wenn sich der Mensch behaglich fühlen soll. In der freien Luft, wenn sie auch nicht wahrnehmbar bewegt ist, wird auch bei 70 oder 80 Procent der Sättigung jenes Wasserquantum dem Körper abgenommen, nicht aber in der ebenso feuchten Zimmerluft. Die Folge davon ist, dass bei der gewöhnlich mit der Luftheizung verbundenen bedeutenden Wasserverdampfung der Mensch sich nicht wohl fühlen kann; daraus erklärt es sich auch, dass man bei anderen Heizmethoden als einer mit der gebräuchlichen starken Wasserverdampfung verknüpften Luftheizung, wenngleich ebenso gut geheizt und ventilirt wird, sich wohler fühlt, weil keine künstliche Wasserverdampfung stattfindet, also die Luft trockener bleibt. In meinem Hause, wo von den Wasserverdampfungsapparaten nur wenig Gebrauch gemacht wird, sind auch von Seite der Miethbewohner Klagen über die Luftheizung nicht erhoben worden, im Gegentheil, es wurde öfters geäussert, dass diese Heizung nichts zu wünschen übrig lasse.

Sehr trockene Luft in Zimmern wirkt nicht leicht so belästigend wie sehr feuchte*). Die verschiedenen Angaben über den zweckmässig-

*) Ich habe an einem sehr kalten Tage im Januar 1880 in einem Arbeits-Zimmer der königl. Industrieschule bei mässiger Ofenheizung zuverlässig nur 22 Procent der Maximalfeuchtigkeit gefunden. (An derselben Stelle zeigte ein Klinkerfues'sches Hygrometer nur 2 Procent, sage zwei Procent!) Trotzdem haben die das Zimmer benützenden Personen keine belästigende Empfindung wahrgenommen.

sten Feuchtigkeitsgrad beruhen theils auf individuell verschiedener Empfindung, theils aber auch auf unrichtigen Hygrometerbeobachtungen. Desswegen mag noch beigefügt werden, dass die Beobachtungen der relativen Feuchtigkeit mittels des Psychrometers nicht richtig sind, wenn man, wie es zu geschehen pflegt, das Resultat nach der Differenz des trockenen und feuchten Thermometers den von den Meteorologen benützten Hygrometertafeln entnimmt oder nach den diesen Tafeln zu Grunde liegenden Formeln berechnet. Jene Zahlen gelten für mittelmässig bewegte Luft. Da aber die Angaben des feuchten Hygrometers von der Geschwindigkeit der Verdunstung abhängen, und diese Geschwindigkeit, wie die Xerometerbeobachtungen deutlich erkennen lassen, in Zimmern viel geringer ist als im Freien selbst bei Windstille, findet man in Zimmern die Thermometerdifferenz zu klein, also die relative Feuchtigkeit zu gross angegeben.

Auch im Freien erhält man bei der üblichen Benützungsweise des Psychrometers bei Windstille zu grosse, bei heftigem Winde zu kleine Werthe der relativen Feuchtigkeit.

Haarhygrometer zeigen gleichfalls zu feucht, z. B. 70 Procent statt 60, wenn sie ursprünglich richtig waren, aber längere Zeit nicht regenerirt worden sind (S. 145)*).

Ebenso verhält sich das Strohhygrometer (S. 160), wenn die Scala für den regenerirten Faden bestimmt ist, aber die Regeneration unterbleibt.

Am wenigsten zuverlässig habe ich, wie auch andere Beobachter**), die Klinkerfues'schen Hygrometer gefunden. Sie sind aber am meisten in Anwendung, und daraus sind um so mehr die weit auseinandergehenden Urtheile über die Wirkung eines gewissen Feuchtigkeitsgrades zu erklären.

---

*) Die Regeneration des Koppe'schen Haarhygrometers lässt sich noch bequemer ausführen als auf S. 146 nach Koppe angegeben ist. Man kann nämlich das Zeugrähmchen ganz weglassen und den geschlossenen Hygrometerraum rasch dadurch mit Dampf sättigen, dass man durch die für den Uhrschlüssel bestimmte Oeffnung mittels einer Federspule einige Mal die ausgeathmete Luft einbläst.

**) Dr. A. Schottky, Luftuntersuchungen in Schulzimmern; Zeitschrift für Biologie, 1879, XV. Band, S. 550.

Bericht über die Untersuchungen der Heizungs- und Ventilations-Anlagen in den Berliner Schulgebäuden, S. 48.

§. 277.

Die Kohlenoxydfrage.

Seitdem die Chemiker Saint Claire Deville und Troost in Frankreich und Graham in England die Permeabilität der Metalle für gewisse Gase nachgewiesen und namentlich die Ersteren auf Morin's Veranlassung quantitative Untersuchungen — wenn auch mit zweifelhaften Resultaten — über die Permeabilität glühender gusseiserner Oefen für Kohlenoxyd angestellt haben, erblicken Viele in einem gusseisernen Ofen einen gesundheitsgefährlichen Apparat, während Andere an eine solche Durchlässigkeit des Eisens durchaus nicht glauben wollen, und wieder Andere wenigstens nicht an ein wirkliches Durchgehen des Kohlenoxyds von innen nach aussen, weil ja ein viel grösseres Quantum dieses Gases durch die Fugen, Spalten und Risse eines Ofens austreten müsste, als durch die äusserst kleinen Poren der Ofenwandungen, was aber bei einem glühenden Ofen wegen des bedeutenden äusseren Ueberdrucks nicht geschieht.

Man darf die Vorgänge der mechanischen Bewegung und der Diffusion nicht verwechseln. Dem starken Luftstrom entgegen, welcher sich durch die sichtbaren Oeffnungen in den Ofen hinein bewegt, erfolgt die Diffusion nicht, doch kann sie in den Wandungen vor sich gehen, wo eine solche entgegengesetzte Luftströmung eben wegen der Kleinheit der Oeffnungen, der Poren, nicht stattfindet.

Dieser Vorgang hat nach den in §. 21 gemachten Mittheilungen über Diffusion, Endosmose und Exosmose nichts Unwahrscheinliches. Das Kohlenoxyd, wenn sich solches durch Reduction der Kohlensäure an der inneren glühenden Ofenwandung bildet, dringt in Folge einer starken Molekular-Anziehung zwischen Kohlenoxyd und Gusseisen von Theilchen zu Theilchen der festen Wand vor bis an die äussere Wandfläche; dort wird es vermöge der Diffusion der Gase von der am Ofen emporströmenden Luft aufgenommen, gewissermassen weggeleckt. Die Möglichkeit des Austretens von Kohlenoxyd auf diesem Wege ist demnach vorhanden. Ob aber desshalb die gusseisernen Oefen gesundheitsgefährlich sind, ist eine andere Frage, deren Beantwortung von der Menge des diffundirenden Kohlenoxyds abhängt. Die Bestimmung dieser Menge ist aber, wie aus §. 104 hervorgeht, eine der schwierigsten Aufgaben für den Chemiker; auch Deville, Troost und Morin haben nach monatelangem Experimentiren zum Zwecke der Feststellung der Kohlenoxydmenge in mittels eiserner Oefen erwärmter Luft schliess-

lich geäussert, dass ihre Resultate in Bezug auf Diffusion nicht zweifellos richtig seien. Auch in Deutschland hat man über diesen wichtigen Gegenstand viele Versuche angestellt und dabei sehr verschiedene Resultate erhalten, von welchen jedoch diejenigen, welche die Furcht vor Kohlenoxydvergiftung nähren könnten, am wenigsten richtig erscheinen.

Eine sehr eingehende Abhandlung über „Kohlenoxyd und gusseiserne Oefen“ hat Dr. med. Gustav Wolffhügel in der Zeitschrift für Biologie (1878, Band XIV, S. 407) publicirt.

Wolffhügel, zu Ende des Jahres 1878 in das Reichs-Gesundheitsamt nach Berlin berufen, beschäftigte sich als Pettenkofer's erster Assistent am hygienischen Institut und Docent an beiden Hochschulen in München eifrig mit der Kohlenoxydfrage. Schon in Band XII der Zeitschrift für Biologie 1876 (S. 696) hat er die Streitfrage, ob man der durch einen glühenden gusseisernen Ofen möglichen Kohlenoxyd-Diffusion eine sanitäre Bedeutung beimessen dürfe, in Besprechung gezogen und sich gegen die Annahme einer Schädlichkeit ausgesprochen; und dazu bestimmten ihn sowohl Bedenken gegen die angewandten Untersuchungsmethoden, als auch theoretische Erwägungen und die alltägliche Erfahrung. Seit jener Meinungsäusserung sind wieder einige Arbeiten erschienen, in welchen der Nachweis von Kohlenoxyd in der Heizluft eiserner Heizapparate theils mit positivem, theils mit negativem Erfolge versucht worden war. Diese stellt Wolffhügel in Band XIV der Zeitschrift für Biologie 1878 (S. 506) zusammen und beleuchtet die Kohlenoxydfrage mit Berücksichtigung der hierüber vorhandenen Literatur und gestützt auf die von ihm selbst angestellten experimentellen Untersuchungen.

Nicht nur in Tageszeitungen, sondern auch in technischen und hygienischen Zeitschriften waren seit einigen Jahren Publicationen zu lesen, nach welchen die Luftheizung verworfen werden sollte, hauptsächlich weil Dr. R. Kaiser, Chemiker am Gewerbemuseum in Nürnberg, an der Luftheizung des dortigen Gewerbemuseums eine abnorme Beschaffenheit gefunden hat. Das Vorhandensein von Kohlenoxyd in der Heizluft hat er sowohl mittels Oxydation durch eine Chromsäurelösung, als auch mittels Absorption durch eine Lösung von Kupferchlorür in concentrirter Salzsäure nachgewiesen und gleichzeitig durch Absorption mit absolutem Alkohol in der Heizluft Russ und theerartige Producte in beträchtlicher Menge gefunden, wogegen die Bestimmungen der Kohlensäure und des Wassergehaltes der Luft vor ihrem Eintritt in den Heizapparat und nach ihrem Austritt keine erheblichen Differenzen ergeben haben.

Obgleich Dr. Kaiser Versuchszahlen nicht angibt und seinen Bericht über die Versuchsanordnung so kurz gehalten hat, dass der Kritik jeder nähere Einblick versagt ist, zweifelt Wolffhügel nicht an der Richtigkeit jener Angaben und findet es ganz natürlich, dass neben der starken Verunreinigung mit Russ und theerartigen brenzlichen Stoffen auch Kohlenoxyd vorhanden war. Aber die Permeabilität des Gusseisens hält Dr. Kaiser selbst durch seine Versuche keineswegs für erwiesen, erwähnt vielmehr, dass die Entstehung von Kohlenoxyd in der Leitungsluft vielleicht auf die gleiche Ursache zurückzuführen sei, wie die Entstehung der theerartigen brenzlichen Substanzen und des Russes, nämlich auf eine Zersetzung der organischen Gemengtheile des Staubes an den stark erhitzten Wänden der Caloriferen, mit anderen Worten auf die vernachlässigte Reinigung der Heizkammer.

Bei dem Mangel der Angaben darüber, ob man nach der Entstehungsursache in der Heizkammer gesucht hat, hält Wolffhügel es für wahrscheinlich, dass bedeutende Undichtigkeit der Caloriferen, sei es in Folge schadhaften Zustandes oder schlechter Construction, sich hätte finden lassen; denn wenn Zersetzung des Staubes die Ursache wäre, müsse, um Missstände, wie sie Dr. Kaiser beobachtet hat, zu erzeugen, die Staubablagerung auf den Caloriferenwandungen schon eine so dichte sein, wie sie nur in der Zeit ausser der Heizperiode allmählich werden könne, wenn nicht die Heizanlage eine so verunglückte sei, dass sie anstatt reiner Luft Wolken von Strassenstaub in die Heizkammer treten lasse.

Dr. Kaiser gehe daher in seinen Schlüssen entschieden zu weit, wenn er mit seinem concreten Falle, aus welchem sich vorerst nur ein Vorwurf gegen das Heizbetriebs-Personal im Gewerbemuseum begründen lasse, den Beweis geliefert haben wolle, dass die der Luftheizung gemachten Vorwürfe nicht unbegründet seien.

Die Untersuchungsmethode von Dr. Aug. Vollert, welcher an der Luftheizung des Johanneums in Hamburg die Heizluft nach Absorption von Kohlensäure und Wasser über glühendes Kupferoxyd leitete und die dann gefundene Kohlensäure auf Kohlenoxyd berechnete, bezeichnet Wolffhügel als nicht zuverlässig, da, wie auch früher bei den Untersuchungen von Deville und Troost, die Kohlenwasserstoffe der Luft nicht in Rechnung gezogen wurden, wodurch das Resultat fehlerhaft geworden sei. Diesem Umstande legt Wolffhügel um so grössere Bedeutung bei, da die Leitungsluft der Luftheizung im Johanneum wahrscheinlich verhältnissmässig viel Kohlenwasserstoffe enthalten habe, indem Dr. Vollert selbst schreibt: „die ursprünglich völlig dichten Fugen

hatten sich im Laufe des Winters in Folge der starken Hitze erweitert und gestatteten den Verbrennungsgasen einen gewissen Durchgang."

Dennoch war daselbst im Gegensatze zu den Dr. Kaiser'schen Mittheilungen eine irgendwie in Betracht kommende Menge brenzlicher Stoffe durch Absorption mit absolutem Alkohol nicht nachweisbar; aber mit jener Angabe übereinstimmend zeigte sich der Kohlensäuregehalt der Luft nicht vermehrt. Dieses findet Wolffhügel befremdend, da Dr. Vollert 10 pro Mille Kohlenoxyd gefunden haben will, und da doch naturnothwendig, wo sich eine Entwickelung oder Vermehrung von Kohlenoxydgas kundgibt, auch das Entstehen oder eine Vermehrung von Kohlensäure wahrnehmbar sein muss.

Die Unzuverlässigkeit der quantitativen Bestimmungen geht auch aus der von Dr. Vollert mitgetheilten Erfahrung hervor, dass trotz der 10 pro Mille Kohlenoxyd in der Zimmerluft an den Schülern nicht die geringste Erscheinung zu Tage getreten war, welche irgendwie auf Kohlenoxyd-Intoxication hätte hindeuten können, obgleich Lehrer und Schüler den Aufenthalt in einer Luft mit 10 pro Mille Kohlenoxyd wohl kaum ertragen hätten.

Den Publicationen von Dr. R. Kaiser und Dr. Aug. Vollert stehen jene von Dr. F. Gottschalk und Prof. Dr. Herm. W. Vogel gegenüber.

Dr. Gottschalk hat die Heizanlagen einiger Leipziger Schulen mittels einer säurefreien Lösung von Palladium-Natrium-Chlorür untersucht, wobei schon nach Durchleitung einiger Liter Luft von nur 0,22 pro Mille Kohlenoxydgehalt eine charakteristische Reaction eintreten musste, hat aber kein Kohlenoxyd gefunden.

Dr. Vogel hat in seinen gemeinsam mit Sanitätsrath Reincke und Prof. A. Müller angestellten Untersuchungen der Ofen- und Luftheizung in Berliner Schulen mittels seiner Kohlenoxyd-Blutprobe (S. 280) ebenfalls die Gegenwart von Kohlenoxyd nicht nachweisen können.

Nachdem auch Wolffhügel sich für die Anwendung der Blutprobe entschieden hatte, wollte er sich zunächst überzeugen, ob ein glühender gusseiserner Ofen durch seine Wandung wirklich Kohlenoxyd diffundiren lasse. Zu diesem Zwecke liess das hygienische Institut in München vom Eisenwerk Kaiserslautern einen eigenen Ofen giessen, an welchem auf einer leicht ins Glühen kommenden Seite des Feuerkastens eine kleine Kammer aus Gusseisen, eventuell Diffusionskammer, mit einer Fläche von 1 qdm angebracht ist. Mittels eines kleinen Tubulus von 2 cm Durchmesser steht der Kammerraum mit der Zimmerluft in Verbindung. Zur Entnahme von Gasproben aus dem Feuerungskanale

ist in die Ofenwand oberhalb der Diffusionskammer ein schliessbares Loch gebohrt.

Während in den an dieser Stelle entnommenen Feuergasen Kohlenoxyd in reichlicher Menge vorhanden war, ergaben zahlreiche spectroskopische Proben der Kammerluft vom rothglühenden Ofen stets negatives Resultat. Ebensowenig konnte in der direct von der rothglühenden Wand des Ofens entnommenen Luft Kohlenoxyd gefunden werden.

Jedoch wurde eine merkliche Steigerung des Kohlensäuregehaltes in der Diffusionskammer constatirt, nämlich bei 0,5 bis 0,7 pro Mille Kohlensäure der Aussenluft eine Steigerung auf 1,1 bis 3,4 pro Mille, und sogar eine geringe Steigerung bei nicht glühendem Ofen, nämlich 0,8 pro Mille Kohlensäure.

Wolffhügel machte dann noch Versuche mit zwei gusseisernen Röhren von 25 und 50 mm Weite, $3\frac{1}{2}$ und $6\frac{1}{2}$ mm Wanddicke und $1\frac{1}{2}$ m Länge. Diese Röhren waren so durch einen Windofen gesteckt, dass ihre Mitte zur Rothgluth erhitzt werden konnte, ohne dass die Enden sehr heiss wurden. Mittels eingekitteter Glasröhren war der Luftraum der Röhren einerseits mit der freien Atmosphäre, andererseits mit dem Untersuchungsapparat in Verbindung gesetzt.

Kohlenoxyd war hierbei in der Blutprobe sowohl mittels des Spectral-Apparates als auch mit dem blossen Auge zu erkennen. Auch dann noch, als die Röhren auf einer Feldschmiede gut ausgeglüht worden waren, war die Kohlenoxyderscheinung nicht weniger deutlich.

Wolffhügel nimmt damit den Nachweis der Permeabilität des glühenden Gusseisens für Kohlenoxyd als erbracht an, hält aber dennoch die gusseisernen Oefen in dieser Hinsicht für ungefährlich, und das gewiss mit Recht, da sich durch die Blutprobe ein grösserer Gehalt von Kohlenoxydgas im Tabacksrauch nachweisen lässt, was seine eigenen Beobachtungen und die von Herm. W. Vogel ergeben haben. „Der Tabacksrauch ist im Vergleich zur Heizluft gusseiserner Heizapparate eine starke Kohlenoxydquelle; trotzdem sind nirgends an Rauchern oder Nichtrauchern, welche in dichtem Tabacksqualm sich aufgehalten haben, zweifellose Erscheinungen einer Kohlenoxyd-Intoxication beobachtet worden.“

§. 278.

Relative Zweckmässigkeit der verschiedenen Heizmethoden.

Es wird hier vorausgesetzt, dass jede der im Obigen behandelten Heizungsanlagen in ihrer Art gut, von geeignetem Material nach be-

währten oder wohl begründeten Regeln der Technik ausgeführt sei und namentlich reichlich grosse Heizflächen biete, um unter allen Umständen bei normaler Erhitzung zu genügen. Solche an und für sich fehlerfreie Beschaffenheit der Apparate vorausgesetzt, ist eine jede Heizmethode für einzelne bestimmte Fälle die zweckmässigste, während sie für andere Fälle unzweckmässig sein kann.

In erster Linie ist es von Wichtigkeit zu wissen, ob mit Rücksicht auf die Zwecke der zu heizenden Räume die Erwärmung durch Strahlung oder die durch Einführung erwärmter Luft überhaupt vorzuziehen oder doch theilweise erwünscht, oder dagegen besser zu vermeiden ist.

Seit geraumer Zeit ist es die vorherrschende Ansicht, dass die strahlende Wärme möglichst von der Anwendung bei der Zimmerheizung auszuschliessen sei; um so mehr macht es gegenwärtig Aufsehen, dass der Engländer Lewis W. Leeds gerade das Gegentheil behauptet. „Lewis W. Leeds macht in einer kleinen Abhandlung über Heizung durch Strahlung auf das bei der neuerdings so verbreiteten Luft- und Warmwasserheizung in höchstem Grade gesundheitswidrige Princip der Vorwärmung der Luft aufmerksam und führt aus, wie bei einer naturgemäss functionirenden Beheizung unserer Wohnräume die Erwärmung der uns umgebenden Gegenstände nur durch Strahlung bewirkt werden müsse, während die eingeathmete Luft durch Oeffnen der Thüren und Fenster kalt zu halten sei. Insbesondere schädlich aber ist es, wenn die Luft gar noch eine höhere Temperatur als die der uns umgebenden Gegenstände besitzen sollte.“*)

Das Beste liegt sicher zwischen diesen Extremen. Starke und einseitige Wärmestrahlung wird leicht lästig und ist gewiss der Gesundheit nicht zuträglich; aber sie zur Vorwärmung eines Raumes zu benützen, ist gut und vortheilhaft, und während der Benützung des geheizten Raumes ist gleichmässig milde Strahlung erfahrungsgemäss angenehm und keineswegs der Gesundheit nachtheilig.

Aber ebenso wenig wird von der Einwirkung mässig und sogar gut erwärmt eingeführter Luft Nachtheiliges zu constatiren sein. Wie unwesentlich für die Athmung die Sauerstoffverminderung in der geathmeten Luft bei der Erwärmung auf angenehme Zimmertemperatur ist, wurde schon früher (S. 505) nachgewiesen; aber zu kühle Luft kann auch bei strahlender Wärme unangenehm sein und dadurch nachtheilig

*) Der Rohrleger und Gesundheits-Ingenieur 1880, Nr. 2 S. 32, nach: The Journal of the Franklin Institute.

werden, dass sie das von dem menschlichen Körper auszuscheidende Wasser nicht rasch genug aufnimmt.

Es wird im Allgemeinen das Zweckmässigste sein, die Zimmer durch Heizkörper, welche sich in ihnen befinden, zu erwärmen, aber die Ventilationsluft ebenfalls gut vorgewärmt einzuführen. Wärme strahlende Heizkörper sind hauptsächlich die Stubenöfen oder Feueröfen, wozu auch die verbesserten Kamine und die Gasöfen zu rechnen sind, dann die Dampföfen, Wasseröfen, Dampfwasseröfen und Luftöfen, welche eine mildere Strahlung gewähren als die nicht ummantelten Feueröfen, während jedoch auch bei diesen die Strahlung durch Ummantelung (oder Ofenschirme) nach Belieben gemildert werden kann. Weitere Wärmestrahler sind bei den Centralheizungen die Heizröhren, sowie erwärmte Wände und mitunter theilweise oder gänzlich die Fussböden, was ohne Zweifel wegen der Gleichmässigkeit der Erwärmung und wegen der günstigeren Richtung des Luftwechsels das Wünschenswertheste ist.

Da sich bei jeder Methode localer und centraler Heizung die Strahlung und Warmluft-Einführung in Anwendung bringen lässt, so ist hierin ein wesentlicher Unterschied nicht principiell, sondern nur bei gewissen Modificationen vorhanden. Ebenso macht es bei der Erwärmung der Luft ausserhalb der zu heizenden Räume, also bei den Centralheizungen mit Ventilation nach dem Princip der Luftheizung, keinen wesentlichen Unterschied, ob die einzuführende Luft sich in einem Kanale an heissen Röhren oder in einer Heizkammer an einem Feuerofen, Dampf- oder Wasserofen, einer Heizschlange u. dgl. erwärmt.

Die Wahl des einen oder anderen Centralheizungssystems ist hauptsächlich durch die Frage bedingt, in welche horizontale Entfernung von der Centralfeuerung die entwickelte Wärme fortgeleitet werden soll. Bei kleinen Entfernungen ist die einfache Luftheizung am rechten Platze, bei grösseren die Wasserheizung, bei sehr grossen die Dampfheizung, alle mit ihren Combinationen. Bei diesen sämmtlichen Heizmethoden lässt sich gute Erwärmung und genügende Ventilation erreichen, und zwar bei gleich rationeller Anlage und Behandlung auch mit ziemlich gleichem Aufwand von Brennmaterial.

Ferner ist bei der Wahl der Heizung ein zu beachtender Punkt der Umstand, ob die Räume ziemlich continuirlich oder mit grösseren Unterbrechungen geheizt werden sollen, wobei rasches Anheizen erwünscht ist. Das schnellste Anheizen gestatten die Stubenöfen als Feueröfen mit langen blechernen Rauchröhren. Auch die Feuer-Luftheizung gewährt ziemlich rasche Erwärmung und voraussichtlich noch

in höherem Grade bei Anwendung der neuen Wolpert'schen Luftöfen (S. 885). Dann folgen in dieser Hinsicht der Reihe nach die Dampfheizung, Heisswasserheizung, Warmwasserheizung.

In Bezug auf Gleichmässigkeit und Nachhaltigkeit der Wärmeentwickelung stehen Füllofenfeuerungen (Schüttfeuerungen) oben an, sowohl für locale als centrale Heizung; und in Bezug auf Reservationsvermögen für die Wärme, wobei natürlich auch die Mauermassen von Bedeutung sind, wird die Feuer-Luftheizung die beste sein, namentlich combinirt mit der Fussbodenheizung (S. 891) oder auch Wandheizung (S. 889); grosses Reservationsvermögen hat auch die Warmwasserheizung, viel weniger die Heisswasserheizung, am wenigsten die Dampfheizung als solche.

Gefahren sind bei richtiger Anlage und Bedienung nirgends zu befürchten, und die Möglichkeit des Einfrierens bei Wasserheizungen ist durch die oben (§. 268) angegebenen Füllmassen beseitigt. Durch Störung der Wassercirculation sind bei Heisswasserheizungen häufig Explosionen vorgekommen.

Die Anlagekosten sind bei einfachen Stubenöfen am geringsten, etwas grösser bei der gewöhnlichen Luftheizung, etwa doppelt so gross bei der Heisswasserheizung, noch grösser bei der Dampfheizung, am grössten bei der Warmwasserheizung. Die Dampfheizung kann jedoch bei sehr grosser Ausdehnung der Anlage die billigste sein, besonders dann, wenn mechanische Ventilation nothwendig ist, zu deren Betrieb der Dampf benützt werden kann.

Weitere Angaben über Vortheile und Nachtheile der verschiedenen Heizmethoden und ihrer Modificationen sind bei deren Beschreibung eingeflochten.

§. 279.

Mittel zur Kühlung geschlossener Räume.

An praktischen Kühlmitteln ist kein Mangel. Ausser den sogenannten Frost- oder Kältemischungen, welche für den vorliegenden Zweck wegen zu grosser Kosten keine Bedeutung haben, sind folgende Kühlmittel zu erwähnen:

I. Kühlung der Räume durch zweckmässige und namentlich nächtliche Ventilation.

II. Kühlung der Luft durch Bodenleitung.

III. Kühlung der Luft durch Röhren oder geschlossene Gefässe mit kaltem Wasser.

IV. Kühlung der Luft durch Eis.
V. Kühlung der Luft durch Berührung mit Wasser.
VI. Kühlung der Luft durch Kälte-Erzeugungs-Maschinen.

Für die Wahl des in einem besonderen Falle am besten geeigneten Kühlmittels sind mancherlei Rücksichten massgebend, hauptsächlich die Kühlungsgrösse und der Kostenpunkt. Ferner ist Einfachheit eine zwar nicht massgebende, aber in hohem Grade zu berücksichtigende Bedingung.

I. Kühlung der Räume durch zweckmässige und namentlich nächtliche Ventilation.

Das Bedürfniss der Kühlung geschlossener Räume macht sich in unserem Klima selten in hohem Grade geltend, wenn man für richtigen, reichlichen und namentlich nächtlichen Luftwechsel sorgt. Das Offenlassen der Fenster zur Nachtzeit ist ein wirksames Mittel, um die Mauermassen abzukühlen, allein es lässt sich nicht immer anwenden. Dann sind aber die in §. 138 bis 149 angegebenen Vorrichtungen für die Ventilation warmer, nicht geheizter Räume, nach Umständen mit Anwendung der in §. 124 bis 134 besprochenen Kappen für Benützung der pressenden und saugenden Wirkung des Windes zweckdienlich.

Wo gute Einrichtungen für solche Sommer-Ventilation bestehen, wobei der Luftwechsel durch die natürlichen Temperaturdifferenzen und durch die Luftströmungen in der Atmosphäre bewirkt wird, wo also ohne Kosten, Mühe und Störung auch in den Nächten die Ventilation im Gange bleiben kann, welche sogar alsdann wegen der nächtlichen geringeren Aussentemperatur um so lebhafter vor sich geht, wo man überdies es nicht versäumt, die nach Süden liegenden Fenster, sowie ihre Vorhänge und Läden bei starkem Sonnenschein zu schliessen, — da werden die Mauermassen auch an den heissesten Sommertagen nicht leicht so stark durchwärmt, dass die Zimmertemperatur über 22° C. steigt, eine Temperatur, welche man in leichter Sommerkleidung nicht zu hoch finden wird, wenn man in Winterkleidung eine Zimmertemperatur von 18 bis 20° C. für wünschenswerth hält.

Dieses gilt auch für Räume, wo sich zeitweise viele Menschen aufhalten und sogar bei reicher Gasbeleuchtung, wenn die Gesammteinrichtung zweckmässig ist und für ihre richtige Handhabung Sorge getragen wird. Wie bedeutend die Wärmemengen sind, welche durch den Stoffwechsel der Menschen und durch die Beleuchtungsflammen entwickelt werden, ist aus §. 183 und 184 zu entnehmen. Diese Wärmemengen können rasch aus dem Bereiche, in welchem sie lästig werden, fort-

geschafft werden, wenn der Luftwechsel in entsprechender Grösse und im Wesentlichen von unten nach oben fortschreitet und wenn namentlich die Beleuchtungsapparate an geeigneten Stellen angebracht und mit entsprechenden Ableitungsvorrichtungen der Verbrennungsproducte versehen sind.

Wo Kühlung Hauptzweck ist, die Ventilation von oben nach unten fortschreiten zu lassen, das halte ich für am wenigsten zweckmässig, und ich erlaube mir das hier auszusprechen, obwohl oder gerade weil diese bei dem Trocadero-Palast in Paris zur Ausführung gelangte Einrichtung*) bei den vielbesprochenen Concurrenzentwürfen für die Ventilation des grossen Festsaals des Gürzenich in Köln**) nachgeahmt und diese Nachahmung von mehreren Seiten als etwas besonders Anerkennenswerthes bezeichnet worden ist. —

Wenn auch in den meisten Fällen lästige Ueberschreitungen der normalen Zimmertemperatur durch gute und besonders nächtliche Ventilation verhütet werden können, so sind doch zuweilen intensiver wirkende Kühlungsmittel von entschiedenem Nutzen, sowohl für Versammlungsräume vieler Menschen, als auch für industrielle Zwecke, Bierbrauereien u. dergl.

II. Kühlung der Luft durch Bodenleitung.

Lässt man die Luft durch gusseiserne Röhren fliessen, welche ziemlich tief im Boden liegen, wird leicht eine Abkühlung um mehrere Grade, unter günstigen Umständen bis auf 10° C. erreicht. Die Berechnung der nöthigen Kühlfläche ist hierbei kaum anders möglich als auf Grund von Versuchen in demselben Boden und in der nämlichen Tiefe, weil die Wärmeableitung im Boden sehr verschieden sein kann. Auch Péclet gibt darüber keine Zahlenwerthe an, bezeichnet aber die Bodenleitung als die zweckmässigste Einrichtung zur Abkühlung der Luft im Sommer in heissen Gegenden und fügt bei, wenn die Luft mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 3 m mittels eines Centrifugal-Ventilators durch die Röhren getrieben werde, könne die Arbeit eines Mannes hinreichen, um die Ventilationsluft gekühlt für einen Raum zu liefern, in welchem sich 50 oder 60 Personen befinden.

Mitunter kann es zweckdienlich sein, die Röhren in einen Bach oder Kanal zu legen, welcher sehr kaltes Wasser führt; wenn die Was-

*) Deutsche Bauzeitung 1878. Nr. 34.

**) Deutsche Bauzeitung 1879. S. 279, 300, 309. Der Rohrleger 1879, S. 89, 102, 117, 155, 171.

sertemperatur bekannt ist, kann die Berechnung der Kühlflächen in gleicher Weise durchgeführt werden, wie bei der im Folgenden zu besprechenden Kühlung durch Röhren, in welchen kaltes Wasser fliesst.

Die Röhren für die Luftleitung müssen nicht nur dicht sein, damit kein Wasser von aussen eindringt, sondern sie sind auch mit Vorrichtungen zum Ableiten des Condensationswassers der Luftfeuchtigkeit zu versehen.

III. Kühlung der Luft durch Röhren oder geschlossene Gefässe mit kaltem Wasser.

Um die folgenden Berechnungeu abzukürzen und übersichtlicher zu machen, werde hier Einiges (nach S. 29, 113 und 95) vorausgeschickt.

Das Gewicht G von 1 cbm Luft bei 0° ist 1,293 kg; bei irgend einer anderen Temperatur t^0 ist es:

$$G = \frac{1,293}{1 + 0,003665\, t} \text{ Kilogramm.}$$

Für t =	0°	10°	20°	25° C.
wird G =	1,293	1,247	1,205	1,184 kg

Da man es in den vorliegenden Fällen gewöhnlich mit Temperaturen von ungefähr 20° C. zu thun hat, so mag $G = 1,2$ kg gesetzt werden.

Die specifische Wärme der atmosphärischen Luft ist 0,2377. Damit 1 cbm Luft von ungefähr 20° um je 1° C. abgekühlt werde, ist ihm die Wärmemenge zu entziehen:

$$w = 1,2 \,.\, 0,2377 = 0,28\,524 \text{ Calorien,}$$

wofür 0,29 Calorien angenommen werden mögen. Dieses als allgemeine Vorbemerkung.

Sollen nun n Cubikmeter Luft von der Temperatur T^0 auf die Temperatur t^0 abgekühlt werden, und zwar in der Nähe von 20° C., so ist die zu entziehende Wärmemenge

$$W = n\,(T - t) \,.\, 0,29.$$

Setzt man $T - t = 5^0$ C, und $n = 100$ cbm, so wird:

$$W = 100 \,.\, 5 \,.\, 0,29 = 145 \text{ Calorien.}$$

Diese Wärmemenge kann der Luft entzogen werden durch kaltes Wasser, und zwar etwa durch:

145 Liter Wasser, welches um 1° wärmer wird, oder durch
72,5 „ „ „ „ 2 „ „ „ „
18,1 „ „ „ „ 8 „ „ „ „
14,5 „ „ „ „ 10 „ „

Bezeichnet man mit F die nöthige Kühlfläche, wenn die mittlere Temperatur des Wassers 15° C., die der mit der Kühlfläche in Berüh-

rung kommenden Luft 20°, der mittlere Temperaturunterschied also 5° ist, so ist die nöthige Grösse der Kühlfläche für die Entwärmung der Luft um W Calorien:

$$F = \frac{W}{k \cdot 5} \text{ Quadratmeter.}$$

Es handelt sich nun hauptsächlich um die Bestimmung des Ueberführungscoëfficienten k. Befindet sich das Kühlwasser in einem Gefässe von Eisenblech, so könnte es nahe liegen, nach S. 584 den Wärmeübergang in einer Stunde bei 1° Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Luft durch 1 qm Wandfläche zu 23 Calorien anzunehmen und wie folgt weiter zu schliessen:

Bei Kühlgefässen von Gusseisen dürfte die Fläche kleiner sein. Ein zuverlässiger Werth für den Wärmedurchgang aus Luft durch eine Gusseisenwand in Wasser ist nicht bekannt; ihn nach Massgabe der Werthe 7 und 14 (S. 584) doppelt so gross wie bei Eisenblech anzunehmen, wird nicht gerechtfertigt sein, weil die Wärmeemission in Bezug auf das Wasser bei Gusseisen und Eisenblech nicht sehr verschieden, wenigstens nicht so verschieden sein wird, als in Bezug auf die Luft. Doch würde das 1½fache und noch etwas mehr, also der Werth 35 oder 36 einige Wahrscheinlichkeit für sich haben, wenn für rostfreies, reines Eisenblech $k = 23$ hier richtig wäre. Allein wie aus den Untersuchungen über Wärmeemission (§. 186 bis 189) hervorgeht, wachsen die Emissionscoëfficienten in Bezug auf Strahlung und Luftberührung mit der Temperatur in solcher Weise, dass man, weil die Redtenbacher'schen Angaben sich ohne Zweifel auf sehr hohe Temperaturen beziehen, bei Kühlapparaten nur ungefähr die Hälfte annehmen darf. Desshalb mag hier in Ermangelung besserer Grundlagen k für reines Eisenblech $=$ 12 und für Gusseisen $=$ 18 anzunehmen sein.*)

Ist das Eisen rostig, dann ist kein Unterschied zwischen Gusseisen und Eisenblech zu machen. Sind die Gefässwände mit Wassertropfen besetzt, was in Folge der Abkühlung der warmen Luft leicht geschieht, so wird die Wirkung erhöht, weil dadurch die Emissionsfläche vergrössert wird und der Strahlungscoëfficient, welcher, auch im negativen Sinne, für die Wärmeaufnahme Geltung hat, nach der Tabelle der

*) Prof. Herm. Fischer sagt in einer Abhandlung über solche Kühlvorrichtungen (Dingler's Journal 1880, Bd. 235 S. 3): „Eiserne Röhren und recht zweckmässige Anlage vorausgesetzt, darf man vielleicht annehmen, dass je 1 qm der Rohroberfläche stündlich und für 1° Temperaturunterschied des Wassers und der Luft 15 Calorien überführt.“

Strahlungscoëfficienten verschiedener Substanzen (S. 555) für Wasser bedeutend grösser ist als sogar für rostiges Eisen. Sind die Wandungen nicht mit Tropfen besetzt, sondern im Ganzen ziemlich gleichmässig nass, so wird die Wirkung etwas geringer sein; man wird aber bei nassen Wandungen überhaupt um so sicherer annehmen dürfen, dass 1 qm der Gefässoberfläche stündlich für 1° Temperaturunterschied des Wassers und der Luft wenigstens 18 Calorien überführt. Immerhin sind das Annahmen, welche möglicher Weise bei experimenteller Prüfung sich nicht bestätigen.

Gusseiserne Kühlgefässe sind ohne Zweifel vortheilhaft, doch haben Gefässe aus Wellblech andere und vielleicht mehr zu berücksichtigende Vorzüge, vorausgesetzt, dass sie mit einem Anstrich versehen werden, welcher das Rosten verhütet, ohne die Wärmeüberführung wesentlich zu vermindern.

Man hat öfters Kupfer als das für Kühlvorrichtungen am besten geeignete Material bezeichnet, von der Annahme ausgehend, dass die Ueberführungswerthe der Wärme zwischen Luft und Wasser bei den verschiedenen Metallen sich verhielten wie die Wärmeleitungscoëfficienten. Dieses ist aber keineswegs der Fall. Es kommt hier nur darauf an, dass das Wärmeleitungsvermögen des Gefässmaterials gross genug ist, um die geringe Wärmemenge, welche die mit ihm in Berührung kommenden Lufttheilchen abgeben, schnell genug an das kältere Wasser überzuleiten; dazu genügt ein mässig guter Wärmeleiter, bessere Wärmeleitung ist ohne Nutzen. Aus dem nämlichen Grunde ist auch der Einfluss der Wanddicke in den gewöhnlichen Grenzen als verschwindend klein anzunehmen. Dagegen ist die Rauhheit der Emissionsflächen, wie solche beim Gusseisen vorhanden ist, von günstiger Wirkung.

Das Kühlwasser wird bei bestehenden Wasserleitungen im Sommer nicht leicht kälter als mit 12° C. zu beschaffen sein. Die Temperatur des Brunnenwassers ist gewöhnlich 10° C.; ich habe sie häufig im Sommer und im Winter so gefunden.

Die Röhren und Heizgefässe der Wasserheizung und auch der Dampfheizung werden sich theils unmittelbar, theils mit einigen Abänderungen für die Luftkühlung benützen lassen. Man wird aber die Kühlung nicht nach dem Circulationsprincip zu bewerkstelligen haben, sondern einfach das kalte Wasser oben einfliessen und unten ausfliessen lassen. Hierbei kann eine sehr grosse Geschwindigkeit der Wasserströmung erreicht werden, also überhaupt bedeutende Wirkung, wenn eine reichliche Menge kalten Wassers zur Verfügung steht. Ausserdem kann man durch Einlegung von Eis in reichlich grosse Wasserreservoire, welche über dem Kühl-

röhrensystem anzubringen wären, wo solche nicht schon für die Wasserheizung vorhanden sind, das Wasser mehr abkühlen, also sich der Eis-Wasser-Kühlung bedienen.

IV. Kühlung der Luft durch Eis.

Für die Verflüssigung von 1 kg Eis sind nahezu 80 Wärme-Einheiten aufzuwenden (§. 48). Man kann also die Temperatur von 10 Liter Wasser durch Einlegen von 1 kg Eis um 8° C. erniedrigen. Man kann ferner, wenn man das Wasser des geschmolzenen Eises so lange zur Abkühlung benützt, bis die Wassertemperatur auf 20° C. gestiegen ist, von 1 kg Eis der Luft 100 Calorien entziehen lassen. Sollen wie in obigem Beispiele 100 cbm Luft etwa von 25° auf 20° gekühlt werden, wobei der Luft 145 Calorien zu entziehen sind, so ist dieses mit 1,45 oder ungefähr 1 ½ kg Eis möglich.

Mit welcher Geschwindigkeit die Luftkühlung durch Eis bewerkstelligt werden kann, das hängt von der Grösse der Eisstücke, von der Art und Weise der Schmelzung, von den Formen und Dimensionen der Schmelzgefässe, von der Luftführung und mancherlei anderen Umständen ab. Es wird vortheilhaft sein, das Eis mässig zerkleinert in schmale gusseiserne Kästen zu bringen, welche dem zu kühlenden Luftstrom in den Weg gestellt werden. Das eingefüllte Eis wird alsdann ungefähr ¾ des Gefässraumes einnehmen, das übrige Viertel wird sich alsbald mit Schmelzwasser füllen — entsprechende Ueberfüllung oder Nachfüllung von Eis vorausgesetzt. Das Schmelzwasser wird man nicht weiter ablassen als etwa um das Ueberfliessen zu verhüten; man wird sogar, wenn man nach dem ersten Einfüllen des Eises sofort möglichst intensiv kühlen will, gut daran thun, kaltes Wasser einzugiessen, weil alsdann die Wärmeüberführung nicht theilweise von Luft in Luft, sondern in höherem Grade von Luft in Wasser erfolgt, auch das Eis im Wasser schneller schmilzt als in der Luft bei Hohlräumen in den Gefässen.

Die Fläche der Eisgefässe soll im Verhältniss zum Rauminhalt gross sein, die Höhe und Form so, dass die Füllung bequem bewerkstelligt werden kann; ferner sollen die Gefässe stabil genug und des Transportes wegen nicht zu schwer sein. Als Gefässmaterial eignet sich, wie bei der Kühlung mittels Wassers vorzugsweise Gusseisen, unter manchen Umständen vielleicht ebenso gut oder noch besser Wellblech; da aber Erfahrungen darüber, namentlich in Bezug auf Dauerhaftigkeit, noch fehlen, so mag hier nur Gusseisen vorausgesetzt werden.

Die inneren Dimensionen eines gusseisernen kastenförmigen Gefässes mit trichterförmiger Erweiterung, also eines Parallelepipeds mit

oberer trapezförmiger Endigung des Querschnitts, mögen sein: Länge 0,50 m, Breite 0,10 m, Höhe der verticalen Langwände 1,80 m, Höhe der verticalen Querwände 1,90 m, obere Auskragung einer jeden Langwand 0,10 m. Die Wandstärke sei so gering, als es der Guss erlaubt, angenommen 5 mm. Der Kasten steht auf 0,15 m hohen Füssen.

Eine entsprechende Anzahl solcher Kästen wird in einer Luftkammer oder einem geräumigen Luftkanal in Reihen aufgestellt, zwischen den Kastenreihen werden 0,50 m hohe Fussbänke, Gänge oder Stege ausgeführt, so dass die Einfüllung des Eises in 1,55 m Höhe über den Fussbänken stattfindet.

Die Aussenfläche eines vorbeschriebenen Kastens ist nahezu 2,41 qm und das Gewicht nebst gusseisernen Füssen ungefähr 100 kg. Man könnte die Kühlflächen durch äussere Rippen vergrössern, doch würde dann der Ueberführungscoëfficient kleiner und die Kästen würden zu schwer.

Wenn die Wärmeüberführung stündlich bei 1 qm Fläche und 1° C. Temperaturdifferenz 18 Calorien beträgt, so beträgt sie bei 2,41 qm und 20° C. (wenn nämlich der Temperaturüberschuss der mit den Gefässwänden in Berührung kommenden Luft im Mittel 20° C. ist):

$$18 \,.\, 2,41 \,.\, 20 = 868 \text{ Calorien.}$$

Der Rauminhalt eines Kastens mit Einrechnung des keilförmigen oberen Theiles ist 0,11 cbm. Ist der Kasten mit Eiswasser gefüllt, so hat dieses Wasser das Gewicht:

$$0,11 \,.\, 1000 = 110 \text{ kg.}$$

Das specifische Gewicht des Eises ist 0,926 und bei der Füllung mit circa $^3/_4$ Eis und $^1/_4$ Wasser ist das Gewicht des Eises (ohne Eisüberfüllung):

$$0,11 \,.\, 926 \,.\, ^3/_4 = 76,4 \text{ kg.}$$

Da jedoch die Kästen mit Eis überfüllt werden dürfen, kann die Eismenge für einen Kasten mindestens zu 80 kg gerechnet werden.

Die Abkühlung der Luft währt bedeutend länger als die Schmelzung des Eises, weil nach Beendigung des Schmelzens die Luft noch so lange Wärme an das Wasser abgibt, bis dieses selbst auf die Temperatur der vorüberfliessenden Luft erwärmt ist. Doch ist diese Kühlung durch das Wasser weniger stark. Soll die intensive Luftkühlung länger währen als die Schmelzung des einmal eingefüllten Eises, so lässt man aus jedem Kasten durch einen Hahn am Gefässboden Wasser abfliessen, während man so viel Eis einbringt, dass der Kasten nahezu voll erhalten wird.

Das Wasser wird unmittelbar nach der Schmelzung des Eises oben noch wenig über 0°, unten aber eine höhere Temperatur, etwa 3 bis 5° C.

haben. Das wärmere Wasser befindet sich in diesem Falle unten, weil das Wasser bei ungefähr 4° C. im Zustande seiner grössten Dichtigkeit ist. Es wäre also nicht zweckmässig, beim Einschütten des Eises das Wasser oben überfliessen zu lassen, anstatt es unten abzulassen.

Die Fussbodenplattung unter den Kästen wird mit Cementfugen und etwas gegen einen äusseren Ablauf fallend ausgeführt, überdies rinnenförmig gestaltet. Es wird in der Regel vorausgesetzt werden dürfen, dass Kanalisirung vorhanden ist, welche benützt werden kann, um das überflüssige Wasser abzuführen.

Zur Abhaltung von Kanalgasen wird man einen der in §. 106 beschriebenen Dunstschlüsse in Anwendung bringen können, am zweckmässigsten den in Fig. 110 dargestellten Sand- und Wasserschluss.

Besteht eine zu benützende Kanalisirung nicht, wird es gewöhnlich am zweckmässigsten sein, das Wasser in ein hinreichend tief liegendes Reservoir, ein Wasserloch, zusammenfliessen zu lassen, von wo aus es von Zeit zu Zeit mittels einer Pumpe oder auch durch Ausschöpfen beseitigt wird.

V. Kühlung der Luft durch Berührung mit Wasser.

Wenn die abzukühlende Luft unmittelbar mit kälterem Wasser in Berührung gebracht wird, lässt sich erwarten, dass die Abkühlung wenigstens ebenso gross ist, als bei eisernen, mit Wasser gefüllten Gefässen, auch wenn deren Wandungen nass sind. Die Wasserfläche als eine nach oben gerichtete Kühlfläche liegt besonders günstig, da hier die in §. 195 für die Lagen der Heizflächen untersuchten Vorgänge in umgekehrter Weise auftreten.

Besonders zweckdienlich, einfach und verhältnissmässig billig wird die Einrichtung sein, in offenen, auf möglichst grosse Länge frei liegenden eisernen Rinnen das Wasser dem zu kühlenden Luftstrom entgegen fliessen zu lassen. Die Berechnung der nothwendigen Kühlfläche kann nach der Gleichung geschehen:

$$F = \frac{W}{k\,(T - t)} \text{ Quadratmeter,}$$

wobei T und t als mittlere Temperaturen der Luft und des Wassers einzuführen sind und $k = 18$ angenommen werden mag. Mit Benützung der für die Gegenstromheizfläche gegebenen Formeln zu rechnen (§. 197 und 198), ist wenig begründet, so lange wegen mangelnder Kenntniss des genauen Werthes von k das Rechnungsresultat doch nur ein annähernd richtiges sein kann.

Es fragt sich nun, wie die durch Wasserverdunstung hierbei

zugleich erfolgende Kühlung zu berechnen, oder was überhaupt von dieser zu halten ist. Desshalb soll an dieser Stelle die Kühlung durch Wasserverdunstung ausführlich besprochen werden.

Luftkühlung kann dadurch entstehen, dass die Luft, mit Wasser in Berührung, diesem die zu seiner Verflüchtigung nöthige Verdampfungswärme liefert. Man kann die Luft über Wasser hinstreichen lassen, oder feuchte Gegenstände im Luftstrom anbringen, oder dem Luftstrom fein zertheiltes, zerstäubtes oder durch viele kleine Löcher aus Wasserröhren oder Gefässen herabfallendes Wasser, einen sogenannten Wasserschleier in den Weg bringen.

Vor Allem ist zu untersuchen, wie gross die möglicherweise unter bestimmten Umständen verdampfbare Wassermenge ist. Kennt man die Grösse der Verdampfungsfläche, die bei Wasserzerstäubung oder bei Anwendung eines Wasserschleiers nur ungefähr geschätzt werden kann, aber bei einer Wasserfläche, bei feuchten Tüchern, Steinen u. dgl. als genau gegeben anzunehmen ist, lässt sich die in §. 275 bei der Theorie der Luftbefeuchtungsrosette angewandte Formel benützen:

$$\mathfrak{D} = \varphi\, F\, (p - p_1),$$

wobei $\mathfrak{D}$ die in einer Minute entstehende Dampfmenge in Gramm bedeutet, F die Verdampfungsfläche in Quadratmeter, p die bei der Temperatur des Wassers mögliche Maximalspannung, p_1 die wirkliche Spannung des Wasserdampfes in der Luft und φ einen Coëfficienten, welcher nach der Geschwindigkeit der Luftbewegung zwischen 0,55 und 0,9 schwankt und hier wegen der in der Regel geringen Luftgeschwindigkeit nicht höher als 0,6 anzunehmen sein wird. Der betreffende Werth für p ist aus der Tabelle S. 125 zu entnehmen und der Werth für p_1 nach den dort gegebenen Werthen mit Rücksicht auf die relative Feuchtigkeit der zugeführten Luft zu berechnen.

Ist z. B. die Temperatur der zu der feuchten Fläche gelangenden Luft 25° C. und ihre relative Feuchtigkeit 50 Procent der Sättigung, so ist die Dampfspannung in der Luft:

$$p_1 = 23{,}55 \,.\, 0{,}50 = 11{,}77 \text{ mm}.$$

Hat das Wasser, beziehungsweise die feuchte Fläche die Temperatur 15° C., so ist

$$p = 12{,}70 \text{ mm};$$

folglich:

$$p - p_1 = 12{,}70 - 11{,}77 = 0{,}93,$$

und es wird für 1 qm die Dampfmenge:

$$\mathfrak{D} = 0{,}6 \,.\, 1 \,.\, 0{,}93 = 0{,}558 \text{ g in der Minute};$$

folglich die Dampfmenge in der Stunde:

$$\mathfrak{D}_1 = 0{,}558 \,.\, 60 = 33{,}48 \text{ g} = 0{,}03348 \text{ kg}.$$

Die Verdampfungswärme bei 15° wäre nach S. 100 für 1 kg Dampf

$$r = 606{,}5 - 0{,}695 \,.\, 15 = 596 \text{ Calorien}.$$

Es könnten also der Luft in einer Stunde

$$0{,}03348 \,.\, 596 = 19{,}95 \text{ Calorien}$$

bei einer Verdampfungsfläche von 1 qm entzogen werden, wodurch

$$\frac{19{,}95}{5 \,.\, 0{,}29} = 13{,}76 \text{ cbm Luft}$$

um 5° C. gekühlt werden können.

Dieses Resultat ist sehr gering trotz der günstigen Voraussetzungen. Wäre die relative Feuchtigkeit der zugeführten Luft 60 Procent anstatt 50 Procent, so wäre

$$p_1 = 23{,}55 \,.\, 0{,}60 = 14{,}13$$
$$p - p_1 = 12{,}70 - 14{,}13;$$

es wäre also bei einer Wassertemperatur von 15° gar keine Verdampfung in dieser Luft möglich; die mit dem Wasser in Berührung kommende Luft würde sogar noch Wasser durch theilweise Condensation ihres Dampfgehaltes verlieren. Erst bei der Wassererwärmung auf nahezu 17° C. könnte die Verdampfung beginnen, und eine Abkühlung der Luft unter diese Temperatur durch die Verdunstung wäre nicht möglich. Zum Zwecke der Wasserverdunstung ist also sehr kaltes Wasser nicht geeignet, während man es doch zum Zwecke der Luftkühlung durch Berührung möglichst kalt anzuwenden hat. Nun ist die relative Feuchtigkeit der Aussenluft oft viel grösser als 60 Procent, sie kommt zuweilen der Sättigung nahe. Dann müsste auch das zu verdunstende Wasser nahezu die Temperatur der Luft haben und es könnte nur eine unbedeutende Kühlung hervorgebracht werden.

Danach ist klar, dass die viel genährte Annahme, durch Wasserverdunstung könne eine bedeutende Luftkühlung erzielt werden, eine irrthümliche ist, und dass jedes Verfahren, welches hauptsächlich auf Kühlung durch Wasserverdunstung abzielt, von der Anwendung auszuschliessen ist, da es bei etwas ungünstigen Verhältnissen wirkungslos sein kann*).

*) Prof. Herm. Fischer ist durch andere Berechnungsweise zu dem nämlichen Schlusse gelangt. Die bereits citirte interessante und lehrreiche Abhandlung: „Ueber Kühlung geschlossener Räume, in welchen Menschen sich aufhalten", bezieht sich hauptsächlich auf die Concurrenzentwürfe für die Ventilation des Gürzenich-Saales zu Köln.

Die mehrfach erwähnte Condensation eines Theiles der Luftfeuchtigkeit bei der Kühlung ist von besonderer Wichtigkeit; sie ist theils zweckwidrig, theils erwünscht. Zweckwidrig ist sie insofern, als sie in Bezug auf Kühlung das Gegentheil bewirkt wie die Verdunstung, dass nämlich die Verdampfungswärme des niedergeschlagenen Wassers an die Luft oder die Kühlgefässe übergeht, folglich die Kühlvorrichtungen umfangreicher sein müssen, um auch diese Wärmeerzeugung auszugleichen.

Bei 25° C. kann 1 cbm Luft (nach S. 128) 22,95 g Wasser enthalten, bei 60 Procent der Sättigung enthält dann 1 cbm

$$22{,}95 \,.\, 0{,}60 = 13{,}77 \text{ g}.$$

Wird diese Luft an den Kühlapparaten auf die Temperatur 15° herabgebracht, wobei 1 cbm nur 12,81 g Wasser aufgelöst enthalten kann, so müsste die Wassermenge

$$13{,}77 - 12{,}81 = 0{,}96 \text{ g}$$

sich niederschlagen, wenn die Luft ihr Volumen behalten würde; dieses Volumen vermindert sich aber in dem Verhältniss

$$\frac{1 + 0{,}003\,665 \,.\, 15}{1 + 0{,}003\,665 \,.\, 25} = \frac{96}{100} \text{ cbm},$$

und dieses geringere Volumen kann nur enthalten

$$12{,}81 \,.\, 0{,}96 = 12{,}30 \text{ g};$$

niederschlagen muss sich also aus 1 cbm der Aussenluft die Wassermenge:

$$13{,}77 - 12{,}30 = 1{,}47 \text{ g}.$$

Die Verdampfungswärme des niedergeschlagenen Wassers ist bei 1 cbm Luft:

$$1{,}47 \,.\, 0{,}596 = 0{,}88 \text{ Calorien},$$

also für je 100 cbm der Aussenluft 88 Calorien, welche Wärmemenge an die zu kühlende Luft oder an die Kühlapparate übergeht.

Diese Wärmemenge ist keineswegs als unbedeutend ausser Rechnung zu lassen; sie ist (nach S. 548) ungefähr derjenigen gleich, welche ein Jüngling von 15 Jahren in einer Stunde durch den Stoffwechsel producirt. Bei ungünstigen Annahmen berechnet Herm. Fischer*) den Umfang der Kühlvorrichtungen mit Rücksicht auf die durch Wasserniederschlag erfolgende Erwärmung auf mehr als den doppelten desjenigen, welcher für Abkühlung der Luft ohne Berücksichtigung des Feuchtigkeitsgehaltes verlangt wurde, wonach beispielsweise für den grossen Gürzenich-Saal zu Köln bei Kühlung durch Wasser, welches in

*) Dingler's Journal Bd. 235, S. 4.

Röhren gegen den Luftstrom geführt würde, die nöthige Kühlfläche auf 19200 qm sich entziffert; es ist nach Fischer zweifelhaft, ob die betreffende Kühleinrichtung im gesammten Kellergeschoss untergebracht werden kann.

Erwünscht ist die Condensation eines Theiles der Luftfeuchtigkeit, weil die hohe relative Feuchtigkeit der gekühlten Luft als ein Uebelstand betrachtet werden muss. Wenn die Luft von 25° und 60 Procent Sättigung, also mit 13,77 g Wasser in einem Cubikmeter nach irgend einer Kühlung und Wiedererwärmung ohne Wasserverlust und Wasseraufnahme im Zimmer die Temperatur 20° annimmt, wobei 1 cbm Luft 17,23 g Wasser enthalten kann, ist daselbst die relative Feuchtigkeit:

$$\frac{13,77}{17,23} \cdot \frac{1 + 0,003\,665\ .\ 25}{1 + 0,003\,665\ .\ 20} = 0,80\ .\ 1,02 = 0,816$$

d. i. nahezu 82 Procent, also ein jedenfalls viel zu hoher, bei der geringen Luftbewegung im Zimmer sehr lästiger Feuchtigkeitsgrad. Noch schlimmer ist es, wenn die Luft bei ihrer Kühlung noch Wasser aufnimmt, wenn also die Kühlung durch Wasserverdunstung bewerkstelligt wird. Darin liegt ein weiterer Grund, vor der Wasserverdunstung zu solchen Kühlzwecken zu warnen. Damit soll jedoch nicht gesagt sein, dass die Kühlung durch Wasserberührung nicht angewendet werden solle, weil dabei Verdunstung stattfinden kann. Wird die Temperatur der Luft durch die Kühlung mittels des Wassers so weit erniedrigt, dass sich Wasser aus der Luft niederschlägt, so ist von Verdunstung überhaupt keine Rede mehr, die Wasserfläche verhält sich dabei nicht anders wie eine Metallfläche. Gleiches gilt von der Kühlung durch Wasserzerstäubung, durch einen Wasserschleier u. dgl., wenn das Wasser sehr kalt ist und der Luftstrom nicht eine so grosse Geschwindigkeit hat, dass er kleine Wassertheilchen mechanisch mit sich reisst.

Es lässt sich aber, weil sehr kaltes Wasser in genügender Menge gewöhnlich gar nicht oder nur mit grossen Kosten zu beschaffen ist, durch Kühlung mit Wasser nicht leicht ein so bedeutender Niederschlag bewirken, dass die Luft nach ihrer Wiedererwärmung auf die Zimmertemperatur in erwünschtem Grade trocken ist. Man erreicht dieses um so mehr, je mehr Wasser man aus der Luft niederschlagen lässt, je mehr man die Luft abkühlt. Wird die Luft in Folge dessen zu kalt, so muss man sie in Kanälen oder Luftkammern oder auf andere Art wieder erwärmen, wodurch man sie von der normalen relativen Trockenheit erhalten kann wie im Winter bei der Luftheizung.

Diese Kühlung und Trocknung ist sehr kostspielig, allein die Möglichkeit der Erreichung des Zwecks ist vorhanden, theilweise bei der

Kühlung mit Wasser, mehr bei Anwendung von Eis, noch mehr, wenn man die für starke Luftkühlung am besten geeigneten sogenannten Kälte-Erzeugungs-Maschinen oder Kaltluft-Maschinen anwendet.

VI. Kühlung der Luft durch Kälte-Erzeugungs-Maschinen.

Die Construction einer Kälte-Erzeugungs-Maschine kann auf der Wärmebindung durch Verdampfung leichtflüchtiger Flüssigkeiten beruhen; vorzugsweise Ammoniak ist als solche Flüssigkeit dienlich, ferner Methyläther, schweflige Säure, Schwefeläther. Hierher gehören die Linde'schen und Kropff'schen Ammoniak-Eismaschinen.

Das Princip anderer Maschinen für den gleichen Zweck, so das der Windhausen'schen Kaltluftmaschine, ist die Kälte-Erzeugung durch Compression und Expansion atmosphärischer Luft. Mittels einer solchen Maschine kann die in einem Cylinder eingeschlossene Luft so stark comprimirt werden, dass ihre Temperatur weit über 100° C. steigt. Die comprimirte heisse Luft wird durch Wasser von gewöhnlicher Temperatur auf ungefähr 20° über Null abgekühlt, wonach ihr die Expansion auf das dem Atmosphärendruck entsprechende Volumen gestattet wird. In Folge dieser Ausdehnung kühlt sich die eingeschlossene Luft auf 40 bis 50° C. unter Null ab.

Derartige Maschinen können, obgleich ihr Betrieb mechanische Kraft und Kühlwasser erfordert, nicht nur für Bierbrauereien und andere industrielle Zwecke, sondern auch für die Kühlung von Versammlungsräumen vieler Menschen unter manchen Umständen geeignete Anwendung finden. Dieses lässt sich aus folgender Berechnung erkennen.

Die Relation zwischen den Temperaturen und Spannungen der Luft ist durch die Gleichung von Poisson dargestellt:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,2908}$$

Darin sind T_2 und T_1 absolute Temperaturen, d. h. (§. 49) die Temperaturen von einem bei 273° C. unter dem Gefrierpunkt des Wassers liegenden Nullpunkt aus gerechnet.

Versteht man in gewöhnlichen Temperaturgraden nach Celsius unter t_1 die Temperatur einer eingeschlossenen comprimirten Luftmasse von der Spannung p_1 und unter t_2 die Temperatur, welche entsteht, wenn die Luft sich ausdehnt und die geringere Spannung p_2 annimmt, so hat die Gleichung die Form:

$$\frac{273 + t_2}{273 + t_1} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,2908}$$

Daraus wird für vorliegenden Zweck hinreichend genau

$$t_2 = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{0,29} . (273 + t_1) - 273.$$

Es sei z. B. die Temperatur der eingeschlossenen Luft $t_1 = 25^0$ C. und ihre Spannung $p_1 = 1,25$ Atmosphären. Während der Expansion nimmt die Luft bei der Spannung $p_2 = 1$ Atmosphäre die Temperatur an:

$$t_2 = \left(\frac{1}{1,25}\right)^{0,29} . (273 + 25) - 273$$

$$t_2 = 279,33 - 273 = 6,33^0.$$

Bei dieser Temperatur $6\,^1/_3{}^0$ C. kann 1 cbm Luft nur 7,4 g Wasser aufgelöst enthalten. Erwärmt sich die bei $6\,^1/_3{}^0$ mit Feuchtigkeit gesättigte Luft im Zimmer auf 20^0, wobei 1 cbm 17,23 g Wasser enthalten kann, so ist die relative Feuchtigkeit

$$\frac{7,4}{17,23} = 0,43,$$

was Manchem etwas zu trocken scheinen könnte. Allein wenn ein Erwachsener 50 g Wasser in der Stunde ausscheidet und für jeden Erwachsenen in der Stunde 25 cbm Luft eingeführt werden, dann trifft auf 1 cbm Luft ein Feuchtigkeitszuwachs von 2 g, so dass (ohne Berücksichtigung der Volumenänderung) 1 cbm Luft 9,4 g Wasser enthält, und demnach wird die relative Feuchtigkeit im Zimmer

$$\frac{9,4}{17,23} = 0,54,$$

also 54 Procent der Sättigung, was ein so reichlich hoher Feuchtigkeitsgrad ist, dass auch eine weitere Trocknung in Folge stärkerer Zunahme der Temperatur nicht nachtheilig wird. Unter Umständen ist aber die relative Feuchtigkeit der gekühlten Luft, sogar nach ihrer Erwärmung im Zimmer auf hohe Temperatur, in Folge gleichzeitiger Aufnahme des Respirations- und Perspirationswassers vieler Menschen so bedeutend, dass ihre stärkere Trocknung erwünscht oder nothwendig ist.

Von den Mitteln zum Trocknen zu feuchter Luft und vom Trocknen überhaupt handelt der nächste Paragraph.

§. 280.

Das Trocknen feuchter Luft und feuchter Gegenstände.

Trocknung ist Beseitigung von Feuchtigkeit. Je nachdem man die Feuchtigkeit nur theilweise oder möglichst vollständig zu entfernen be-

absichtigt, dienen verschiedene Trocknungsverfahren, welche man unterscheiden kann, wie folgt:

I. Trocknung durch Abkühlung.
II. Trocknung mittels Substanzen, welche durch chemische Anziehung Wasser binden.
III. Trocknung durch Verdampfung des Wassers mittels directer Einwirkung entwickelter Wärme.
IV. Trocknung durch überhitzten Dampf.
V. Trocknung in freier Luft.
VI. Trocknung durch absolute Luftverdünnung.
VII. Trocknung durch relative Luftverdünnung.

Diese Trocknungsweisen sollen der Reihe nach besprochen werden.

I. Trocknung durch Abkühlung.

In einem Raume, welcher entweder nur Wasserdampf oder zugleich Luft oder ein anderes Gas enthält, wird grössere absolute Trockenheit, beziehungsweise Verminderung der aufgelösten absoluten Feuchtigkeit durch Abkühlung herbeigeführt, indem sich so viel Wasserdampf zu Wasser oder bei sehr niedriger Temperatur zu Schnee oder Eis verdichtet und sich niederschlägt, dass die aufgelöst zurückbleibende Feuchtigkeit, die Dampfmenge, das der niederen Temperatur entsprechende Maximum, die Sättigungsmenge ist (S. 123). Die Wasserdampfmengen, welche der Raum von 1 cbm oder auch, welche 1 cbm Luft im Zustande der Sättigung enthält, sind für Temperaturen von — 20° bis 266° C. in der Tabelle S. 127 bis 129 zusammengestellt.

In §. 279 war bereits an einigen Stellen von dieser Trocknungsweise der Luft die Rede, doch hauptsächlich mit Rücksicht auf Kühlzwecke. Es fragt sich nun, ob es in Bezug auf den vorliegenden Zweck, die Luft durch Abkühlung möglichst zu trocknen, d. h., möglichst grossen Wasserniederschlag zu bewirken, in gleichem Grade dienlich ist, wenn man das ganze zu kühlende Luftquantum unmittelbar auf eine bestimmte niedrige Temperatur bringt, oder wenn man diese Temperatur durch Mischung eines Theiles der verhältnissmässig mehr gekühlten Luft mit dem übrigen Theile nicht gekühlter hervorbringt.

Ist die abzukühlende Luftmasse ganz oder nahezu mit Feuchtigkeit gesättigt, so ist die beseitigte Wassermenge bei jedem Verfahren die nämliche; ausserdem ist das Mischungsverfahren wirksamer. Dieses lässt sich im Allgemeinen schon durch Vergleichung der Werthe der Feuchtigkeitscapacität für die verschiedenen Temperaturen erkennen (§. 56). Es kann 1 cbm Luft von bestimmter Temperatur keine grössere

Wassermenge enthalten als dort angegeben ist. Fällt aus der halben Luftmenge bei der stärkeren Kühlung weniger Wasser heraus, als bei halb so starker Kühlung aus der ganzen Luftmenge herausfallen würde, so fällt die Differenzmenge noch während der Vermischung heraus. Unvortheilhaft kann folglich in dieser Beziehung das Mischungsverfahren nicht sein, aber mitunter ist es auch nicht überwiegend vortheilhaft.

Wenn 1 cbm Luft bei 25° mit Feuchtigkeit gesättigt auf 15° abgekühlt wird, müssen sich ungefähr 11 g Wasser niederschlagen, dagegen etwa 8 g aus $^1/_2$ cbm bei der Kühlung von 25° auf 5°; im letzteren Falle schlagen sich dann bei der Mischung aus der dampfreicheren Hälfte noch 3 g nieder, so dass das directe Kühlverfahren und das indirecte gleiche Endresultate ergeben.

Verschieden werden die Resultate, wenn die zu kühlende Luft nicht in hohem Grade mit Feuchtigkeit gesättigt ist. Es sollen z. B. 200 cbm Luft von der Temperatur 25° und der relativen Feuchtigkeit 60 Procent auf 15° abgekühlt werden, und zwar einmal dadurch, dass diese Kühlung gleichmässig in dem ganzen Luftquantum geschieht, das anderemal, indem 100 cbm auf 5° gekühlt und dann mit 100 cbm Luft von 25° gemischt werden, wodurch die Temperatur die arithmetisch mittlere, also wieder 15° wird, weil die Gewichtsmengen der sich mischenden Luftmassen gleich sind.

Hier mag die Bemerkung eingeschaltet werden, dass, wenn gleiche Volumenmengen von 5° und 25° gemischt werden und es auf grosse Genauigkeit der Rechnung ankommt, die Mischungstemperatur beider ungleich warmen Luftmassen nach S. 119 zu berechnen ist. Die Mischungstemperatur wäre

$$t_0 = \frac{5\,(1 + a\,.\,25) + 25\,(1 + a\,.\,5)}{2 + a\,.\,25 + a\,.\,5} = 14{,}57^0.$$

Im vorliegenden Falle sind jedoch die Volumenmengen bei 25° als gleich angenommen worden, dann sind auch die Gewichtsmengen bei jeder Temperaturverschiedenheit gleich.

Die Luft von 25° Temperatur und 60 Procent relativer Feuchtigkeit enthält pro cbm 13,77 g Wasserdampf. Aus 200 cbm solcher Luft muss sich bei der Kühlung auf 15° die Wassermenge niederschlagen (vergl. Beispiel S. 946):

$$200\,(13{,}77 - 12{,}81\,.\,0{,}96) = 200\,.\,1{,}47 = 294 \text{ g}.$$

Bei dem anderen Verfahren, wenn die Hälfte der Luft auf 5° gekühlt wird, wobei 1 cbm nur 6,81 g Wasser aufgelöst halten kann, müsste aus 1 cbm die Wassermenge sich niederschlagen:

$$13{,}77 - 6{,}81 \cdot \frac{1 + 0{,}003\,665 \cdot 5}{1 + 0{,}003\,665 \cdot 25} = 13{,}77 - 6{,}81 \cdot 0{,}93 = 7{,}44 \text{ g};$$

demnach schlagen sich aus 100 cbm Luft von der vorherigen Temperatur 25° nieder:

$$100 \cdot 7{,}44 = 744 \text{ g}.$$

Das ist zugleich die bei dem Mischverfahren entfernte Wassermenge; dieses Verfahren ist also in einem solchen Falle viel wirksamer als die directe gleichmässige Abkühlung der ganzen Luftmenge.

II. Trocknung mittels Substanzen, welche durch chemische Anziehung Wasser binden.

Solche Trocknungsmittel sind:

1) Concentrirte oder gewöhnliche Schwefelsäure, Vitriolöl.
2) Chlorcalcium.
3) Frisch gebrannter ungelöschter Kalk.

Schwefelsäure eignet sich, wie bereits S. 121 angegeben ist, zur Trocknung von Luftproben, ferner hauptsächlich zum Trocknen kleiner Gegenstände, chemischer Präparate u. dgl., welche man nebst einer Schale mit Schwefelsäure unter eine luftdicht auf eine geschliffene Glasplatte gesetzte Glasglocke bringt; ebenso zur Bestimmung oder Controlirung des Nullpunkts von Procenthygrometern. Die Schwefelsäure entzieht, wenn sie nicht schon in Folge längerer Berührung mit feuchter Luft viel Wasser aufgenommen hat, der Luft unter der Glocke in einigen Stunden beinahe den ganzen Dampfgehalt; in der fast wasserfreien Luft verlieren dann die feuchten festen Gegenstände, wenn sie nicht zu dick sind, ebenfalls in kurzer Zeit ihr hygroskopisches Wasser.

Chlorcalcium eignet sich für gleiche Zwecke, doch schon mehr für allgemeinere technische Anwendung. Ist das Chlorcalcium wasserfrei, so nimmt 1 kg desselben fast 1 kg Wasser auf. Es lässt sich wiederholt benützen, da es durch Erhitzung auf 500° C. wieder wasserfrei gemacht werden kann.

Frisch gebrannter Kalk zieht Feuchtigkeit aus der Luft an und bildet damit Kalkhydrat. Dieses enthält 24 Gewichtsprocent chemisch gebundenes Wasser. Demnach vermögen 76 Gewichtstheile Kalk 24 Gewichtstheile Wasser zu binden, oder 100 Kalk 32 Wasser, und 1 kg Kalk entzieht, wenn er wasserfrei ist, der Luft 320 g Wasser, das ist eine Wassermenge gleich derjenigen, welche durchschnittlich von 6 oder 7 erwachsenen Personen durch Respiration und Perspiration in einer Stunde an die sie umgebende Luft ausgeschieden wird.

III. Trocknung durch Verdampfung des Wassers mittels directer Einwirkung entwickelter Wärme.

Dieses Trocknungsverfahren kann sich nur auf Gegenstände erstrecken, aus welchen das Wasser in Dampfform an die Umgebung, also in der Regel an die Luft übergeht, nicht dagegen auf die Luft selbst, da in der Luft das Wasser schon dampfförmig ist, und die Luft sogar solches Wasser in um so grösserer Menge aufnehmen und festhalten kann, je mehr sie erhitzt wird.

Man vermag das adhärirende und hygroskopische Wasser fester Körper fast vollständig zu entfernen, wenn man sie mit heissen Flächen in Berührung bringt oder intensive Wärmestrahlung auf sie einwirken lässt. Durch die Wärme wird das Wasser verdampft. Mitwirkung von Luft ist dabei nicht nöthig, doch muss der gebildete Dampf entweichen können.

Enthält ein feuchter Körper bei der Temperatur 10° C. 1 kg Wasser, so ist zur Verdampfung dieses Wassers, wenn es unter Bildung von Dampf geschieht, dessen Temperatur 100° C. ist, nach S. 100 die Wärmemenge nothwendig:

$$606{,}5 + 0{,}305 \,.\, 100 - 10 = 627 \text{ Calorien.}$$

Zugleich muss aber die Temperatur des Körpers selbst auf 100° erhitzt werden, wozu, wenn etwa wie bei hartem Holze die specifische Wärme 0,57 ist (S. 95), für m Kilogramm der als wasserfrei gerechneten Masse die weitere Wärmemenge erforderlich ist:

$$m \,.\, (100 - 10) \,.\, 0{,}57 \text{ Calorien.}$$

Ausserdem sind verschiedene Wärmeverluste je nach der Art der Einrichtung und Behandlung zu berücksichtigen, wenn man den Gesammtaufwand an Wärme und danach den Brennstoffverbrauch berechnen will.

Hierher gehört das Trocknen auf Platten, welche durch Feuer oder heissen Dampf erhitzt werden und worauf man die zu trocknenden Körper ausbreitet; das Trocknen im Sandbade, d. i. in Schalen, welche in heissen Sand gestellt werden; das Trocknen von Papier und Geweben, die man über Metallcylinder laufen lässt, welche durch Dampf erhitzt werden u. dgl.; ferner in Bezug auf die trocknende Wirkung der Wärmestrahlen theilweise das Trocknen von Tuch, Wäsche u. s. w. in der strahlenden Hitze eines Ofens oder in der Sonne.

IV. Trocknung durch überhitzten Dampf.

Die Wirkung dieser Trocknungsweise ist aus der Tabelle S. 128 und 129 zu ersehen. Ist ein Raum von 1 cbm mit gesättigtem Dampfe

von 100° C. angefüllt, so ist die Dampfmenge rund 590 Gramm. Wird dieser Dampf auf 170° C. erhitzt, so wäre der Raum erst dann mit Dampf gesättigt, oder der Dampf selbst wäre gesättigt, wenn davon 3900 Gramm vorhanden sein würden. Der auf 170° überhitzte Dampf in dem Raume 1 cbm könnte also noch

$$3900 - 590 = 3310 \text{ Gramm}$$

oder fast $3\frac{1}{3}$ kg Wasser aufnehmen.

Mit gutem Erfolge ist überhitzter Dampf für die Trocknung von Holz in Anwendung gekommen*). In einem Dampfkessel wird Dampf von 100° C. oder etwas höherer Temperatur erzeugt und dieser Dampf alsdann, ohne dass er ferner mit Wasser in Berührung ist, auf 125 bis 175° C. mittels hindurchgeleiteter geheizter Röhren erhitzt und so durch eiserne Behälter getrieben, in welchen das Holz sich befindet. Der ausgedehnte nicht gesättigte Dampf entzieht dem Holze rasch eine grosse Menge Wasser und führt es mit sich fort.

V. Trocknung in freier Luft.

Das Trocknen in freier Luft ist zwar das einfachste und billigste Trocknungsverfahren, geht auch bei günstigen Witterungsverhältnissen gut und rasch von statten. Doch eignet es sich nicht für einen regelmässigen Betrieb, sondern nur für einige Zwecke der Haushaltung, der Landwirthschaft und kleiner Fabriken, weil es zu sehr von der Temperatur und relativen Feuchtigkeit der atmosphärischen Luft abhängig ist. Hierher gehört auch die Trocknung in Trockenschuppen und Trockenthürmen, wo die zu trocknenden Gegenstände vor dem Regen geschützt sind und durch zahlreiche zweckmässig angebrachte Oeffnungen für guten Luftzug gesorgt ist. Die trocknenden Wirkungen des Windes und der Sonne werden zuweilen vortheilhaft mit zum Trocknen benützt; doch ist für manche Gegenstände darauf zu verzichten, weil sie durch ungleichmässiges einseitiges oder zu rasches Trocknen an der Oberfläche leicht reissen oder sich werfen.

VI. Trocknung durch absolute Luftverdünnung.

Wenn man ein empfindliches Procent-Hygrometer unter die Glocke einer Luftpumpe stellt und die Luft auspumpt, bemerkt man bei jedem Kolbenzuge einen geringeren Hygrometerstand, welcher bei einem kurz vorher regenerirten Hygrometer alsbald nahezu Null wird. Ferner tritt

*) Karmarsch, mechanische Technologie.

unter der Luftpumpe, wenn die Luftspannung auf ungefähr 17 mm vermindert wird, schon bei 20° C. die rasche Verdampfung des Wassers in einem offenen Glase mit der Erscheinung des Siedens ein. Diese Erscheinungen erklären sich aus §. 56.

Man hat in England dieses Princip der Verdampfungsbeschleunigung in Verbindung mit Erwärmung zum Trocknen von Bauholz in folgender Weise benützt*):

Die zu trocknenden Hölzer befinden sich in einem gusseisernen Cylinder mit verticaler Achse von etwa 10 m Höhe und 1 bis 1½ m Durchmesser, welcher luftdicht bedeckt und verkittet ist.

Der Cylinder steht durch eine Röhre mit einer Luftpumpe in Verbindung, und zwischen dem Cylinder und der Luftpumpe ist ein Kühlapparat angebracht, in welchem der grösste Theil des aus dem Holze ausgetriebenen Wasserdampfes zu Wasser verdichtet wird. Der Cylinder ist aussen umgeben mit Sand, welcher durch Feuerröhren erhitzt wird, oder mit Wasser, zu dessen Erwärmung eingeleiteter Dampf dient, oder er ist unmittelbar durch Dampf erhitzt. Die Temperatur des Cylinders wird dadurch auf 45 bis 90° C. gebracht, und die absolute Luftverdünnung entspricht einem Barometerstande von 50 bis 70 mm. Dünnes Holz wird auf diese Weise in etwa 12 Stunden, dickes in einer Woche ausgetrocknet. Die Beendigung des Trocknens erkennt man daran, dass nach Absperrung der Luftpumpe vom Cylinder die am Cylinder befindliche Quecksilberprobe nicht mehr steigt, zum Beweise, dass kein Dampf mehr aus dem Holze sich entwickelt.

VII. Trocknung durch relative Luftverdünnung.

Diese Trocknungsweise ist für die meisten Zwecke am besten geeignet und ist auch am meisten in Anwendung. Sie beruht darauf, dass die Luft von gewöhnlicher Temperatur, selbst wenn sie mit Feuchtigkeit gesättigt ist, durch Temperaturerhöhung befähigt wird, grössere Wassermengen aufzunehmen, folglich an festen warmen Körpern, mit welchen sie in Berührung kommt, Verdunstung zu bewirken.

Die Gesetzmässigkeit dieser Verdunstung ist durch Versuche von Dalton nachgewiesen und durch die in §. 275 angegebene Formel ausgesprochen:

$$\mathfrak{D} = \varphi F (p - p_1).$$

$\mathfrak{D}$ ist die in einer Minute entstehende Dampfmenge in Gramm, φ ein nach der Geschwindigkeit der Luftbewegung veränderlicher Coëffi-

*) Karmarsch, mechanische Technologie.

cient, bei wenig bewegter Luft = 0,55, bei starker Luftbewegung = 0,9, F die Verdunstungsfläche in Quadratmeter, p die bei der Temperatur des Wassers, beziehungsweise des feuchten Körpers mögliche Maximalspannung (Tabelle S. 125) und p_1 die wirkliche Spannung des bereits in der Luft enthaltenen Wasserdampfes.

Vorstehende Formel kann zwar nicht allgemein zur Berechnung der Zeit dienen, welche erforderlich ist, um feuchte Körper zu trocknen, da die Geschwindigkeit dieses Vorgangs von der Beschaffenheit, Dicke, Lagerung und von verschiedenen Zufälligkeiten abhängig ist, deren Einflüsse nur durch besondere Versuche erkannt werden können, welche bei der Mannigfaltigkeit der Combinationen in sehr grosser Anzahl anzustellen wären.

Die Formel lässt übrigens erkennen, dass es in Bezug auf die Abkürzung der Trockenzeit vortheilhaft ist, die Luft mit grosser Geschwindigkeit an den zu trocknenden Körpern hinfliessen zu lassen, dem Luftstrom eine grosse Körperfläche auszusetzen, durch Erwärmung des Körpers eine grössere Maximalspannung des zu verdampfenden Wassers herbeizuführen und durch Anwendung sehr warmer und relativ trockener Luft, also auch durch rasche Abführung der bereits sehr feucht gewordenen Luft, die Spannung des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs gering zu erhalten.

Indessen ist es nicht immer zweckmässig und ökonomisch vortheilhaft, sehr rasch zu trocknen; wie der zu trocknende Körper zu behandeln ist, muss durch Erfahrungsresultate festgestellt werden. Manche Gegenstände vertragen keine sehr hohe Temperatur, andere keinen starken Luftzug.

Es geht aber aus obigen Betrachtungen hervor, dass im Allgemeinen in Trockenräumen der hier zu besprechenden Art ein Luftwechsel mit Einführung warmer Luft zu bewerkstelligen ist, dass also eine solche rationelle Trockeneinrichtung mit einer Ventilations-Luftheizung grosse Aehnlichkeit haben muss. In der That ist hier wie dort die Luftführung durch den zu ventilirenden Raum von oben nach unten principiell das Richtigste, um die Wärme am besten auszunützen und, wie bei einem durch Luftheizung erwärmten Zimmer die kälteste und schlechteste Luft, so in einem Trockenraume die kälteste und hauptsächlich die feuchteste Luft abzuführen.

Feuchte Luft ist zwar specifisch leichter als trockene von gleicher Temperatur unter dem nämlichen Drucke; allein die Verdunstung des Wassers geschieht auf Kosten der Luftwärme, und in Folge dessen wird die Trockenluft, während sie feuchter wird, auch kälter und specifisch

schwerer. Demnach müsste die feuchteste Luft sich am Boden des Raumes sammeln und könnte nur dort abfliessen.

So einleuchtend dieses ist, so hat doch in manchen Fällen die Erfahrung gezeigt, dass die Luftführung in Trockenkammern von unten nach oben vortheilhafter ist, namentlich ein gleichmässigeres Trocknen im ganzen Raume ermöglicht. Dieses erklärt sich daraus, dass die Trockenkammern nicht hermetisch geschlossen sind; es dringt viel kalte Luft durch die unvermeidlichen Oeffnungen, Ritzen an Thüren und Fenstern und Poren der Wände ein, die so eindringende Luft ist kälter und specifisch schwerer als die im Raume auf ihrem Wege von oben nach unten feuchter gewordene Trockenluft, jene kälteste Luft nimmt folglich die untersten Schichten ein und hindert die feuchte Luft in bedeutendem Grade, zu den am Fussboden liegenden Abflussöffnungen zu gelangen. Zugleich entweicht durch die unvermeidlichen Oeffnungen in der oberen Hälfte des Raumes oft eine grosse Menge der wärmsten und trockensten Luft ungenützt. Solche Umstände rechtfertigen es, die Luftführung von unten nach oben vorzuziehen; aber die warme Luft darf am Fussboden nicht in einem vollen Strome eingeführt werden und rasch gegen die Decke des Raumes gelangen, sondern sie muss möglichst vertheilt eingeführt und gezwungen werden, während ihres Emporströmens möglichst viel mit den gut vertheilten zu trocknenden Körpern in Berührung zu kommen. Die in §. 271 beschriebene Fussbodenheizung mit Anwendung von Wellblech, wobei für vorliegenden Zweck viele kleine Luftlöcher im Boden anzubringen wären, dürfte sich für Trockenkammern vorzüglich eignen.

Die Berechnung des für die Trocknung einer bestimmten Menge feuchter Körper von bekanntem Wassergehalte nöthigen Zeitaufwandes wäre leicht, wenn man bei einer bestimmten Temperatur der eingeführten Luft die Temperatur kennen würde, mit welcher die Luft den Trockenraum verlässt, und wenn man voraussetzen dürfte, dass die ausfliessende Luft bei jener Temperatur gänzlich oder in einem bestimmten Grade mit Feuchtigkeit gesättigt wäre. Da man nach der Temperaturdifferenz und der betreffenden Gesammteinrichtung die Geschwindigkeit der Luftausströmung ziemlich genau berechnen kann, würde sich die den feuchten Körpern in der Zeiteinheit entzogene Wassermenge, also auch die zur Beseitigung der ganzen bekannten Wassermenge erforderliche Zeit berechnen lassen. Es lassen sich jedoch für jene Grössen nur nach analogen Einrichtungen annähernde Durchschnittswerthe annehmen.

Genauer lässt sich der Aufwand an Brennstoff berechnen, da man weiss, wie viele Wärmeeinheiten für die Verdunstung einer be-

stimmten Wassermenge erforderlich sind. Doch ist der Brennstoffbedarf wegen der Wärmeverluste durch Transmission auch von der Zeitdauer des Trocknens, von der Temperatur des Raumes und von verschiedenen äusseren Verhältnissen abhängig.

Immerhin bietet die Vorberechnung, wenn man ungünstige Verhältnisse zu Grunde legt, gute Anhaltspunkte für die Einrichtung und sollte desshalb nicht gescheut werden. Man kann sie in folgender Weise durchführen.

Gewöhnlich ist durch den Geschäftsbetrieb bedingt, dass in einer bestimmten Zeit ein bestimmtes Quantum der betreffenden Substanz getrocknet wird. Gesetzt, es soll in n Stunden ein Quantum harten Holzes getrocknet werden, welches in feuchtem Zustande, wie es in die Trockenkammer gebracht wird, G Kilogramm wiegt, im getrockneten dagegen G_1 Kilogramm, so dass $(G - G_1)$ kg Wasser zu verdunsten sind. Die Trocknung sei eine fast vollständige, wobei G_1 als das eigentliche Gewicht der wasserfreien Holzmasse angesehen werden kann.

Die äussere Temperatur sei 10° C., und die Trockenluft werde mit 100° C. in die Trockenkammer eingeführt; ferner sei nach Beobachtungen bei ähnlichen Einrichtungen anzunehmen, dass im Beharrungszustande die aus der Trockenkammer abfliessende Luft die Temperatur 50° C. habe, also die mittlere Temperatur in der Kammer 75° C. sei.

Der nöthige Wärmeaufwand setzt sich aus den Wärmemengen zusammen, welche aufzuwenden sind:

1) für die Erwärmung von G_1 kg Holzmasse von 10° auf durchschnittlich 75° C.;

2) für die Temperaturerhöhung und Verdampfung des Wassers vom Gewicht $(G - G_1)$ kg;

3) für den Ersatz der Wärmeverluste durch Transmission der Umgrenzungsmassen der Trockenkammer;

4) für die Erwärmung der Trockenluft, zu rechnen für den Ueberschuss der Temperatur der abziehenden Trockenluft über die der Aussenluft.

Berechnungsweise.

1) Für die Temperaturerhöhung von G_1 kg harter Holzmasse, deren specifische Wärme 0,57 sein mag (S. 95) von 10° auf 75° C. sind erforderlich:

$$G_1 \, . \, (75 - 10) \, . \, 0{,}57 \text{ Calorien.}$$

2) Für die Temperaturerhöhung und Verdampfung des Wassers hat man nur den Anfangs- und Endzustand zu berücksichtigen, also anzu-

nehmen, dass $(G - G_1)$ kg Wasser von 10 auf 50° C. erwärmt und als Dampf von dieser Temperatur abgeführt werden. Dieser Dampf führt die Wärmemenge mit sich (S. 100):

$$(G - G_1)\ [(606{,}5 + 0{,}305\ .\ 50) - 10]\ \text{Calorien.}$$

3) Die Wärmeverluste durch Transmission der Umgrenzungsmassen, als der äusseren und inneren Mauern, des Fussbodens, der Decke, der Thüren und Fenster, lassen sich mit Rücksicht auf die Localverhältnisse nach §. 194 berechnen. Die Grösse dieser Wärmeverluste sei in einer Stunde w Calorien, also in n Stunden $n\ .\ w$ Calorien.

4) Die vorberechneten Wärmemengen für 1, 2 und 3 sind zu addiren, um die Luftmenge zu finden, welche für den Transport dieser Wärme zu verwenden ist. Jene Summe sei S Calorien. Sollen S Calorien von heisser Luft abgegeben werden, während diese Luft sich von 100° auf 50° C. abkühlt, so gilt für die nothwendige Luftmenge die Gleichung:

$$L\ .\ 0{,}2377\ .\ 50 = S$$

$$L = \frac{S}{0{,}2377\ .\ 50}\ \text{kg Luft.}$$

Wenn diese L kg Luft, mit der Temperatur 10° von aussen entnommen, mit 50° C. abgeführt werden, entführen sie eine Wärmemenge von

$$L\ (50 - 10)\ .\ 0{,}2377\ \text{Calorien,}$$

welche zu obigem Wärmebedarf zu addiren sind; oder es sind überhaupt L kg Luft, um das Verlangte zu leisten, von 10° auf 100° zu erhitzen. Dazu sind erforderlich:

$$L\ (100 - 10)\ .\ 0{,}2377\ \text{Calorien.}$$

Dieses ist der Wärmebedarf, welcher durch die Heizung zu decken ist. Der nothwendige Aufwand an Brennmaterial für die angenommene Trocknungszeit von n Stunden, also daraus auch der für eine Stunde, lässt sich alsdann nach §. 178 berechnen.

Die nöthigen Querschnitte der Zuführungs- und Abführungsöffnungen der Luft findet man durch Division des auf das Volumen bei der betreffenden Temperatur und auf die Secunde reducirten Luftbedarfs mit der secundlichen Geschwindigkeit, welche mit Hülfe der öfters angegebenen Geschwindigkeitsformeln zu berechnen ist.

Da bei diesem Trocknungsverfahren mit relativ verdünnter Luft der veränderliche Wassergehalt der Luft in der Atmosphäre Einfluss hat, ist der Fall denkbar, dass die berechnete Luftmenge, weil etwa schon im Freien bei hoher Aussentemperatur in hohem Grade mit Wasser gesättigt, nicht genüge, um die abzuführende Wassermenge aus den zu trocknenden Substanzen aufzunehmen. Da überdies die aus den Um-

grenzungsmassen der Trockenkammer in die Luft übergehende und von aussen nach innen transmittirte Feuchtigkeit bedeutend sein kann, muss die Luftmenge L ein viel grösseres Wasserquantum aufnehmen können, als das, welches die zu trocknenden Körper enthalten. Desshalb ist zur Controle der Sachdienlichkeit obiger Resultate, wobei die Luftmenge nach der nöthigen Wärmemenge, nicht aber nach der Feuchtigkeitscapacität berechnet ist, noch zu untersuchen, ob jene Luftmenge genügt, um eine reichlich grosse Wasserdampfmenge abzuführen, wenn auch die Aussenluft ungewöhnlich viel Wasserdampf enthält.

Es haben L kg Luft von der Aussentemperatur t^0 das Volumen

$$\frac{L\,(1 + 0{,}003\,665\,.\,t)}{1{,}293}\ \text{cbm},$$

und mit Feuchtigkeit gesättigt enthält dieses Volumen die Wasserdampfmenge:

$$A = \frac{L\,(1 + 0{,}003\,665\,.\,t)}{1{,}293}\,.\,f\ \text{kg},$$

wenn f die aus der Tabelle S. 127 oder 128 für t und 1 cbm Luft zu entnehmende Maximalfeuchtigkeit in Kilogramm bedeutet.

Bei der Temperatur der aus der Trockenkammer abfliessenden Luft, z. B. 50^0 C., kann diese Luft die Wasserdampfmenge enthalten:

$$A_1 = \frac{L\,(1 + 0{,}003\,665\,.\,50)}{1{,}293}\,.\,0{,}08\,272\ \text{kg}.$$

Die berechnete Luftmenge L vermag also in der Trockenkammer noch die Differenzmenge $(A_1 - A)$ kg Wasser aufzunehmen. Der Werth der Differenz

$$(A_1 - A)$$

muss die Grösse des Gewichts des aus den zu trocknenden Substanzen zu entfernenden Wassers, also

$$(G - G_1)$$

bedeutend übertreffen, wenn auch bei ungünstigen Verhältnissen das Trocknen in der gewünschten Zeit gelingen soll.

Man wird aus den obigen Untersuchungen und noch mehr durch Berechnung praktischer Beispiele erkennen, dass es im Allgemeinen nicht genügt, die nothwendige Menge der Trockenluft einfach nach der Wassermenge, welche den zu trocknenden Körpern entzogen werden soll und nach der Feuchtigkeitscapacität der Luft zu berechnen, weil der Aufnahme des Dampfes von Seite der Luft die **Dampfbildung** vorausgehen muss, also die Lieferung der zur Dampfbildung nöthigen **Wärme** vor Allem nothwendig ist.

Es wird kaum der Erwähnung bedürfen, dass die Menge der

Trockenluft bedeutend geringer sein darf, wenn die Wärme zum Theil durch Strahlung an die zu trocknenden Gegenstände übergeht, wenn sich also der Ofen im Trockenraum selbst befindet. Man hat alsdann eine Combination der unter III und VII besprochenen Trocknungsweise.

Diese Combination kann in vielen Fällen zweckmässiger sein, als jedes der beiden Verfahren für sich allein; die durch Bodenheizung und Wandheizung zu erzielende Wärmestrahlung dürfte sich für Trockenkammern besonders zweckdienlich erweisen.

§. 281.

Ueber geruchlose Abtritte.

Dieses Thema habe ich bereits im Jahre 1873 in der Zeitschrift des bayerischen Architekten- und Ingenieur-Vereins behandelt, und meine inzwischen gemachten Erfahrungen bestätigen das dort Gesagte so vollständig, dass ich heute keinen Grund habe, andere Vorschläge zu machen.

Soll ein Abtritt geruchlos sein, so müssen nicht allein die Gase, welche von den durch die Fallröhre hinabgefallenen und noch in dieser hängenden Excrementen ausgehen, aus dem Abtritte fern gehalten, sondern auch die unmittelbar bei der Benützung des Abtritts erzeugten Gase sogleich abgeführt werden, ohne sich erst im Abtrittsraume auszubreiten. Wassercloset und Erdcloset, luftdicht schliessende Deckel und Falltrichter mit Klappen u. s. w. können keineswegs die Verbreitung der während der Benützung des Abtritts sich entwickelnden übelriechenden Gase im Abtrittsraume verhindern, ebenso wenig nach Schliessung des Deckels zur Reinigung der Abtrittsluft beitragen. Daraus erklärt es sich, warum sehr stark benützte Abtritte, z. B. in Gasthäusern, selbst mit vortrefflich eingerichteten und in untadelhaftem Zustande gehaltenen Wasserclosets oft nicht nur selbst von übelriechender Luft angefüllt sind, sondern sogar schon in den Gängen u. s. w. ihre Nähe bemerklich machen.

Was ich als in den meisten Häusern leicht und einfach ausführbar auf Grund meiner Erfahrung vorzugsweise empfehlen will, besteht wesentlich darin, dass man mit Beibehaltung der gewöhnlichsten Abtrittsconstruction die Fallröhre unterhalb des untersten Abtritts eines Hauses mittels eines gemauerten Kanals oder einer Röhre von Thon oder verbleitem Eisenblech u. dgl. mit einem warmen Schornstein, am einfachsten und für gewöhnlich am besten mit einem Küchenschornstein

in Communication bringt. In der Regel lässt sich diese Verbindungsröhre gut unter der Kellerdecke anbringen.

Das ist im Grunde nicht neu; man hat, was principiell dasselbe ist, schon mehrfach die Abtrittsgrube mit einem Schornstein in Verbindung gesetzt. Dass aber diese höchst einfache Einrichtung so wenig Nachahmung gefunden hat, das wäre unbegreiflich, wenn nicht folgende Befürchtungen nahe lägen: die Ventilation sei nicht genügend und gehe nicht regelmässig genug von statten, weil die Temperaturdifferenz, worauf dieselbe beruht, sehr veränderlich ist; ferner, der Zug des Schornsteins werde zu sehr geschwächt, wenn man die kalte Luft von der Grube und den Abtritten in den Schornstein führe, das Küchenfeuer brenne dann schlecht; endlich, die übelriechende Luft werde durch ungünstige Windstösse in die Abtritte zurück und durch die nicht benützten Feuerungsanlagen sogar in die Küchen u. s. w. getrieben. Solche Uebelstände können in der That auftreten, wenn die Anlage fehlerhaft ist. Die Ventilation ist ungenügend, wenn die Verbindung zwischen der Grube und dem Schornstein nicht den nothwendigen Querschnitt hat. Ferner entstehen Unregelmässigkeiten und die erwähnten Störungen, wenn der Schornstein nicht die genügende Weite hat, die Grube (oder der Latrinenraum oder Kanal) nicht gut gegen die äussere Luft geschlossen ist, und wenn der Schornstein oben nicht genug gegen die Einwirkung ungünstig gerichteter Windstösse geschützt ist.

Es soll nun untersucht werden, welche Anforderungen man an die einzelnen Theile des Systems zu stellen hat, um des guten Erfolgs unter allen Umständen sicher zu sein.

Ein sehr wesentlicher Bestandtheil des Ventilationssystems ist die Verbindungsröhre zwischen der Fallröhre und dem Schornstein; sie mag im Folgenden der Kürze wegen als Dunströhre bezeichnet werden. Es ist leicht erklärlich, dass bei zu geringer Röhrenweite unter ungünstigen Temperaturverhältnissen die gewünschte Wirkung nicht erreicht wird. Man wird also in einem speciellen Falle bei mangelnder Erfahrung die nothwendige Röhrenweite für die vermuthlich ungünstigsten Verhältnisse zu berechnen haben. Am ungünstigsten für die Ventilationswirkung sind sehr warme Tage und an solchen diejenigen Stunden, in welchen das Küchenfeuer nicht unterhalten wird, vielmehr der Schornstein sich bereits längere Zeit hindurch abgekühlt hat. Es kann z. B. vorkommen, dass die Temperatur des Schornsteins auf 27° C. sinkt, während die Temperatur der äusseren Luft auf 25° C. steigt. Denkt man sich die Einrichtung für ein kleines einstöckiges Haus, so mag die Druckhöhe, nämlich die Höhe der warmen Luftsäule im Schornstein, von der Ein-

mündung der Rauchröhre der Küchenfeuerung bis zur oberen Schornsteinmündung 4 m betragen. Die für die engste Stelle des communicirenden Röhrensystems mit Benützung der bekannten Näherungsgleichung berechnete wirkliche Geschwindigkeit der kälteren Luft ist

$$c = 0{,}5 \sqrt{\frac{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 4\,(27 - 25)}{273 + 27}} = 0{,}26 \text{ m in der Secunde.}$$

Diese Geschwindigkeit gilt für die Luftbewegung in der Dunströhre bei geöffnetem Abtrittsdeckel, indem vorausgesetzt wird, dass kein Theil des Röhrensystems enger sei als die Dunströhre.

Die wirkliche Geschwindigkeit der sich durch die Sitzöffnung abwärts bewegenden Luft in dieser Oeffnung muss wenigstens 0,10 m pro Secunde betragen, wenn durch diese die Verbreitung der übelriechenden und häufig wärmeren und specifisch leichteren Gase nach oben verhindert werden soll; da im Beharrungszustande die Producte aus den Querschnitten und Geschwindigkeiten an verschiedenen Stellen des Ventilationssystems bei der nämlichen Temperatur gleich sind, berechnet sich für einen Durchmesser der Sitzöffnung von 0,25 m der fragliche Durchmesser x der Dunströhre für die kleinste Geschwindigkeit von 0,26 m aus der Gleichung:

$$\frac{x^2\pi}{4} \cdot 0{,}26 = \frac{0{,}25^2\pi}{4} \cdot 0{,}10$$

$$x = 0{,}15 \text{ m.}$$

In einem vierstöckigen Hause wird bei etwa vierfacher Druckhöhe die Geschwindigkeit für dieselben Temperaturdifferenzen die doppelte. Demnach würde die Dunströhre von 0,15 m Durchmesser auch für zwei Abtritte des vierstöckigen Hauses genügen, während für vier Abtritte daselbst der Querschnitt nahezu doppelt so gross, der Durchmesser nahezu 0,21 m anzunehmen wäre. Es ist jedoch zu bemerken, dass bei mehrstöckigen, von verschiedenen Familien bewohnten Häusern, wenn die verschiedenen Herdfeuerungen in einen gemeinsamen reichlich weiten und guten Schornstein münden, sich die Verhältnisse günstiger gestalten, da die Feuerungen zu verschiedenen Zeiten benützt werden und nicht sämmtliche Abtrittsdeckel gleichzeitig geöffnet sind. Aus denselben Gründen genügt eine Dunströhre von 0,15 m Durchmesser für ein zweistöckiges Haus mit zwei Abtritten. Ein grösserer Durchmesser als 0,20 m für die Dunströhre ist zwecklos, wo die Fallröhre selbst keinen grösseren Durchmesser hat, und das ist gewöhnlich bei den sehr zu empfehlenden Fallröhren aus hart gebranntem und stark glasirtem Thon (Steinzeug) der Fall. Man kann ohne Bedenken für ein vierstöckiges Wohnhaus mit acht Abtritten eine Fallröhre und

Dunströhre von nur 0,20 m Durchmesser anwenden, wo vorausgesetzt werden kann, dass die Bewohner nicht unnöthig die Abtrittsdeckel und Feuerthürchen offen lassen, also nicht unnöthiger Weise kalte Luft durch das Ventilationssystem fliessen lassen. Wo das nicht vorausgesetzt werden kann, wird man freilich für mehr als vier Abtritte Fallröhre und Dunströhre weiter nehmen oder doppelt anlegen müssen.

Nicht weniger als für die Fallröhre und Dunströhre ist auch für den Schornstein die genügende Weite von wesentlicher Bedeutung. Der Querschnitt des Schornsteins soll wenigstens so gross sein, wie die Summe der Querschnitte sämmtlicher Rauch- und Luftabzüge, welche er aufnimmt. Dabei ist eine Rauchröhre für eine Küchenfeuerung wenigstens zu 0,15 m Weite also 176,7 qcm Querschnitt anzunehmen. Kommt hierzu noch eine gleich weite Dunströhre, so entziffert sich ein Schornsteinquerschnitt von 353,4 qcm, also bei der Kreisform ein Durchmesser von $21\frac{1}{4}$ cm. Hat man, wie häufig in mehrstöckigen Wohnhäusern für zwei Familien, für zwei Küchen und eine Waschküche einen Schornstein, mit welchem man die Ventilation zweier Abtritte verbinden will, so wäre der nothwendige Schornsteinquerschnitt $4 \times 176{,}7 = 706{,}8$ qcm, der entsprechende Durchmesser 30 cm, also das grösste übliche Mass russischer Schornsteine. Ergibt die Berechnung die nothwendige Schornsteinweite noch grösser, so wird man einen steigbaren Schornstein anlegen, in welchen man dann in der Regel noch einige Ofenröhren oder einige Dunstabzüge von Küchen oder Luftabzüge von Kinderzimmern, Schlafzimmern etc. führen kann.

Uebrigens werden solche Ventilationsvorrichtungen für Küchen, Waschküchen und dgl. stets besser besonders neben dem Küchenschornstein emporgeführt, weil jene Oeffnungen verhältnissmässig gross sein müssen und desshalb den Zug des Schornsteins bedeutend schwächen. Die Abtrittsventilation wird aber besser mit dem Schornstein unmittelbar in Verbindung gebracht, damit die schlechten Gase möglichst gut erwärmt und häufig noch mit den warmen Verbrennungsgasen gemischt sich um so mehr in den höheren Schichten der Atmosphäre vertheilen. Auch ist das durch die Abtrittsventilation in den Schornstein gelieferte kältere Luftquantum verhältnissmässig gering, namentlich wenn die Abtritte, Gruben u. s. w. in der Regel gut geschlossen sind.

Man hat eine Verbesserung des angeführten Systems darin gesucht, dass man die Dunströhre nicht direct in den Schornstein, sondern unter den Rost einer Feuerung führte. Der Effect wird aber da den Erwartungen nicht entsprechen, weil erstlich der Rost häufig so dicht mit Brennmaterial bedeckt und theilweise durch Asche verstopft ist, dass die Luft-

abführung auf diesem Wege zu gering ist; ferner weil die Thürchen und Fugen einer Feuerung selten so dicht schliessen, dass nicht die zur Verbrennung dienende Luft zum grossen oder grössten Theil durch solche Zwischenräume und Fugen eindringen könnte; endlich weil nach dem Erkalten der Feuerung die Abtrittsluft sich hierbei viel leichter in die angrenzenden Räume verbreitet als bei directer Einführung in den Schornstein. Dazu kommt noch der gewiss nicht geringfügige Umstand, dass die Forderung der den jeweiligen Heizzwecken entsprechenden Regulirung des Luftzuges für die Verbrennung der Forderung einer zu jeder Zeit zu erreichenden möglichst guten Luftabführung aus den Abtritten entgegensteht.

Wie oben erwähnt ist der gute Effect der in Rede stehenden Ventilation auch von dem guten Schlusse des Sammelbehälters der Excremente, der Grube oder des Latrinenraumes oder des Abflusskanals abhängig. Der gute Schluss gegen die äussere Luft ist da um so wichtiger, je enger der Ventilationsschornstein ist und je weniger derselbe über die Temperatur der äusseren Luft erwärmt wird. Bei Abtrittsgruben lässt sich eine sehr gute Absperrung leicht durch Sandschluss erreichen, nämlich auf die in §. 106 durch Fig. 106 dargestellte Weise, bei Abflusskanälen etwa nach Fig. 108.

Nicht eben so wichtig wie der dichte Schluss der Grube ist der dichte Schluss des Abtrittsdeckels, im Gegentheil, es ist dem Zwecke der Abtrittsventilation entsprechend, dass beständig etwas Luft durch die Sitzöffnung (die sogenannte Brille) hinab nach dem Schornstein fliesst, womit jedoch nicht gesagt sein soll, dass es zweckmässig wäre den Deckel gewöhnlich offen zu lassen. Aber die Gesammteinrichtung muss eine solche sein, dass selbst bei ganz gehobenem Deckel in der Brille eine Luftbewegung abwärts, niemals aufwärts stattfindet. Die Befürchtung, dass ein unangenehmer oder der Gesundheit nachtheiliger Zug daselbst entstehe, welcher Umstand die Construction von Trichtern mit Schliessklappen zu Tage gefördert hat, ist hier nicht begründet. Die durch die Brille abwärts gehende Luftströmung wird bei richtiger Anlage überhaupt nur selten wahrgenommen, niemals aber in zu starker, unangenehmer und schädlicher Weise.

Zu den Constructionsfehlern, bei welchen der Zweck zeitweise nicht erreicht wird, gehört endlich der, dass die obere Schornsteinmündung nicht genug gegen die Einwirkung ungünstiger Windstösse geschützt ist. Je grösser die Mündung des Schornsteins und je niederer und kälter die sich im Schornstein emporbewegende Luftsäule ist, desto leichter kann ein abwärts geneigter Wind in den Schornstein gelangen und die Luft-

säule in demselben zurückdrängen, also die daselbst vorhandene schlechte Luft in die Abtritte, Küchen u. s. w. treiben. Folglich ist hier, wo verhältnissmässig weite Schornsteine angewendet werden müssen und besondere Ursachen der Abkühlung des Schornsteins vorhanden sind, auch die Anbringung von entsprechenden Schutzapparaten an der Schornsteinmündung um so mehr nothwendig.

Es eignen sich zu diesem Zwecke die von mir hierfür construirten und von dem Eisenwerke Kaiserslautern angefertigten Rauch- und Luftsauger (§. 130).

Die Zweckmässigkeit der beschriebenen Gesammteinrichtung zu beobachten, habe ich fortwährend Gelegenheit in meinem eigenen jetzt im 9. Jahre bewohnten Hause, welches zwei Stockwerke mit je einer geräumigen Familienwohnung enthält. Den unteren Stock bewohne ich selbst, der obere ist vermiethet. Die Ventilation der Abtritte in beiden Stockwerken ist nach dem mitgetheilten Systeme ausgeführt. Der Sauger für die Schornsteinmündung war schon ursprünglich projectirt, ich benützte aber der Probe wegen den Schornstein zuerst fast ein Jahr lang ohne diesen Apparat. Bei stürmischem Wetter kam es mehrmals vor, dass Rauch und Abtrittsgerüche sich im ganzen Hause verbreiteten und dass bei Benützung des Abtritts unangenehme Windstösse gefühlt wurden. Auch wurde bei anhaltendem Regen der Zug des Schornsteins jedesmal entschieden schlechter. Seit October 1872 ist der Rauch- und Luftsauger angebracht und seit dieser Zeit hatte keine Witterung einen bemerklichen nachtheiligen Einfluss auf die Feuerungen oder auf die Abtrittsventilation, im Gegentheil, je stärker der Wind, desto besser ist stets der Zug im Schornstein, eine Erscheinung, von deren Regelmässigkeit ich mich nicht nur durch gewöhnliche Wahrnehmungen, sondern auch durch Anemometerbeobachtungen überzeugt habe.

Die Regel, dass Abtritte an der Nord- oder Ostseite der Gebände angebracht werden sollen, ist auch hier so viel wie möglich zu befolgen. Wenn die Fallröhre durch Fenster von der Sonne beschienen werden kann oder in einer durch die Sonne erwärmten Mauer liegt, kann wohl der Fall eintreten, dass zeitweise die Luft in der Fallröhre wärmer ist, als im Schornstein, und dann müssen sich, namentlich in den Abtritten der oberen Stockwerke die schlechten Gerüche verbreiten, wenn nicht zufällig kräftiger und anhaltender Wind durch saugende Wirkung an der Schornsteinbekrönung die Luftbewegung innerhalb des Ventilationssystems in der zweckentsprechenden Richtung erhält. Ist man durch die Situationsverhältnisse gezwungen, die Abtritte nach Süden oder Westen zu legen, so umgebe man die in die Mauer zu legende Fallröhre

mit einem schlechten Wärmeleiter und lasse Abtrittmauern und Fallröhren, wenn solche von der Sonne beschienen werden können, weiss oder doch sehr hell anstreichen (§. 135).

Es gibt viele Gebäude, in welchen verhältnissmässig viele Abtritte, aber wenige oder gar keine Küchenfeuerungen vorhanden sind. Dazu gehören grössere Schulgebäude. Man hat dann das Küchenfeuer auf andere Weise zu ersetzen. Für den Winter könnte dieses in der Regel genügend durch Benützung der Heizvorrichtungen geschehen, etwa durch Emporführung der Rauchröhre einer Centralheizung im Ventilationsschornstein, im Sommer durch eine besondere kleine Feuerung, etwa durch Anbringung einiger Gasflammen im unteren Theile des Ventilationsschornsteins.

§. 282.

Ursachen und Verhütungsmittel des Rauchens der Oefen und Herde.

Wie unbehaglich es ist und wie sehr die Gesundheit leidet, wenn man gezwungen ist, sich in einem Raume aufzuhalten, wo die Luft durch Verbrennungsproducte verunreinigt wird, anstatt dass diese vollständig vom Feuer aus sogleich der freien Atmosphäre zugeführt werden, mit anderen Worten, wenn es im Zimmer oder in der Küche raucht, — das ist genügend bekannt. Wer zählt die Mittelchen alle, die schon zur Abhülfe dieses Uebelstandes angerathen worden sind! Wer zählt die Hausbesitzer, welche alle die ihnen angerathenen Mittel ohne Kosten zu scheuen und — ohne Erfolg der Reihe nach durchprobirt haben! „Ja das ist ein zu complicirter Fall, da ist nicht zu helfen,“ das ist gar oft der letzte Trost, den der zu Rathe gezogene Rauchkünstler zu spenden im Stande ist.

Die verschiedenen zum Theile höchst sonderbaren Ansichten über die Ursachen der Luftströmung im Schornstein, des sogenannten Zuges, ferner über die Ursachen des Rauchens der Oefen und Herde, Ansichten, die man nicht nur von Laien und Empirikern hört, sondern sogar gedruckt findet, erklären die Thatsache der häufigen Ausführung ganz unzweckmässiger Anordnungen bei Feuerungsanlagen und die Klagen über den Rauch in alten und neuen Häusern.

Nur eine dieser irrthümlichen Anschauungen will ich hier anführen, weil sie sogar in technischen Kreisen Aufsehen erregt hat und in dem viel verbreiteten Buche: „Péclet, Grundsätze der Feuerungs-

kunde, deutsch bearbeitet von Dr. Carl Hartmann, 3. Auflage 1858“ als sehr wichtig und neu mitgetheilt ist.

Auf Seite 107 jenes Buches ist gesagt, Dr. Gall behaupte mit Recht, dass der Zug bei einer Feuerung in dem Augenblicke beginne, wo der Brennstoff auf dem Roste entzündet werde, also bevor die Temperatur und dadurch die Dichtigkeit und Schwere der Luft in den Zügen und im Schornstein noch die geringste Veränderung erlitten haben könnten. Es erscheine lediglich die im Feuerraume stattfindende Luftverdünnung als Ursache des Nachdringens der äusseren Luft, des „Zugs“. Der Bearbeiter jenes Werkes nennt alsdann diese Entdeckung des Dr. Gall den „grössten Fortschritt, den die Brennstoff-Oekonomie jemals gemacht hat!“

Solche Ansichten können nur aus unklaren Begriffen von Luft und Luftverdünnung hervorgehen.

Dass, wie Dr. Gall sagt, in dem Augenblicke, wo der Brennstoff auf dem Roste entzündet wird, eine Luftverdünnung entsteht, ist gewiss. Durch den Verbrennungsprocess wird ein Theil der an dieser Stelle vorhandenen Luft in andere Luft umgewandelt, die bei gleicher Temperatur und Spannkraft dichter, schwerer ist, folglich einen kleineren Raum einnehmen muss, als vorher im unverbrannten Zustande. Ist nun die Luft der Umgebung, wie Dr. Gall angibt, gleichmässig dicht, so muss sie offenbar von allen Seiten gleichzeitig gegen jene Stelle hinströmen, wo ausserdem, wenn die verbrannte Luft dieselbe Spannkraft wie sie selbst haben sollte, ein Vacuum entstehen müsste. Man erkennt dieses sehr deutlich durch folgendes Experiment (Fig. 400).

Stellt man ein gewöhnliches Trinkglas umgekehrt in einen Teller, welcher etwas Wasser enthält, und bringt man unter das Glas einen brennenden Gegenstand, eine kleine Kerze, einen Fidibus, so erlischt sehr bald die Flamme, weil der Luft ihr ganzer Gehalt an freiem Sauerstoff zur Bildung von Kohlensäure und Wasser durch die Verbrennung entzogen wird. So muss absolute Luftverdünnung entstehen, das Wasser wird durch den überwiegenden Druck der äusseren dichteren Luft in das Glas emporgehoben.

Fig. 400.



Da Dr. Gall die Temperaturdifferenz, die Verminderung des specifischen Druckes von Seite der Rauchsäule auf die Luft im Feuerraume, die aërostatische Differenz in Beziehung auf den Zug für überflüssig hält, und auch Dr. Carl Hartmann auf

Seite 107 dieses mit den klarsten Worten als richtig zugibt, so dürfte man wohl fragen: warum denn die äussere Luft gerade nur von der Schüröffnung her sich eindrängen soll, wenn doch angeblich die Luftmassen auf beiden Seiten gleiche Dichtigkeit und Schwere haben sollen? Warum sogar bei auf- und abwärts geführten Rauchkanälen, wo sich also zuweilen eine erkaltete, folglich dichtere, specifisch schwerere Rauchmasse befindet, der Rauch aus der Feuerung sich nach jener Richtung entfernen kann, so zu sagen aus einem Vacuum nach einem Orte, wo man keinen Mangel an Luft anzunehmen beliebt, wo er sich also mit Gewalt aus eigener unerklärlicher Kraft hindurchdrängen müsste?

Ob eine Dr. Gall'sche Theorie diese Fragen genügend zu beantworten vermöge, — mag dahin gestellt bleiben. Der Leser wird jedoch die Luftströmung in einem Schornstein auf weniger ungereimte Weise oben erklärt gefunden haben.

Wenn ein Schornstein, wie man zu sagen pflegt, „nicht ziehen will", und es folglich in der Stube oder Küche raucht, so fehlt es immer an dem überwiegenden aërostatischen Drucke in der erforderlichen Richtung.

Es kann nun zunächst die Verwendung von schlechtem, feuchtem Brennmateriale die Schuld tragen, da hierbei ein gehöriger Verbrennungsprocess nicht vor sich geht, die hinreichende Erwärmung der Luftsäule im Schornstein nicht erzielt wird.

Es kann zweitens an Form und Dimensionen der Anlage im Einzelnen oder im Ganzen liegen, dass der Verbrenungsprocess gehemmt ist oder das Zustandekommen des nöthigen aërostatischen Uebergewichts erschwert wird.

Es kann drittens durch gewisse Zustände der Atmosphäre und viertens durch unrichtige Behandlung des Heizapparates eine solche Störung veranlasst sein.

Was den ersten Punkt betrifft, so verwende man nur trocknes (Steinkohlen machen nach §. 181 mitunter eine Ausnahme) und gehörig zerkleinertes Brennmaterial. Bekannt genug ist es, wie sehr die Feuchtigkeit im Holze dessen Entzündlichkeit vermindert; viel zu wenig beachtet man aber, dass durch die Verwandlung des im Holze sitzenden Wassers in Wasserdampf eine ausserordentlich grosse Menge von Wärme gebunden und mit dem Dampfe ungenutzt in die Atmosphäre entlassen wird, dass in Folge jener Wärmebindung die Temperatur des brennenden Holzes weit herabgebracht wird; dass folglich die Verbrennug eine sehr unvollständige ist, eine viel

grössere Menge Rauch und leichter ein Niederschlag von Holzessig, Theer und Russ entsteht.

Ist, was den zweiten Punkt angeht, die Feuerungsanlage in Rücksicht auf Form und Dimensionen verfehlt, dann ist die Sache freilich vom Grunde aus schlimm. Es ist möglich, dass durch kleine Abänderungen (wovon weiter unten specieller) geholfen werden kann; ausserdem müsste man sich dazu verstehen, einen vollständigen Umbau des Herdes, des Ofens oder des Schornsteins vorzunehmen.

Die misslichen äusseren Einflüsse lassen sich fast immer, wie für einige Fälle bereits mitgetheilt, durch einfache Vorrichtungen unschädlich machen, wenn sonst die Anlage gut ist, und eine richtige Behandlung des Heizapparates muss vor Allem verlangt werden.

Wenn auch hiermit auf die Ursachen des Rauchens im Allgemeinen hingewiesen ist, so sind doch die dabei zu berücksichtigenden Nebenumstände höchst verschiedenartige. Man darf desshalb nicht ein bestimmtes Recept erwarten, welches geeignet wäre, dem Uebel unter allen Umständen abzuhelfen. Ein Universalmittel ist auch der beste Rauchsauger nicht. Leistet gleichwohl unter den meisten Verhältnissen eine praktisch eingerichtete Schornsteinkappe vorzügliche Dienste, so ist doch immer die ganze Feuerungsanlage, ihr Zusammenhang mit den nächsten Localitäten, die örtliche Lage, die Art und Weise des Heizens u. s. w. in jedem besonderen Falle zu studiren, und erst danach diese oder jene Abänderung vorzunehmen.

Es mögen nun einige Umstände specieller aufgezählt werden, die häufig das Rauchen herbeiführen. Von schadhaft gewordenen Heizapparaten wird hierbei abgesehen.

1) Das Feuer brennt schlecht, es raucht in der Küche oder in einem Zimmer, welches von innen (durch einen sogenannten Windofen) geheizt wird, wenn die Grundbedingung des Zuges, der äussere Ueberdruck fehlt, beziehungsweise dieser Ueberdruck nicht gross genug ist, um die genügende Luftmenge in den geschlossenen Raum zu pressen.

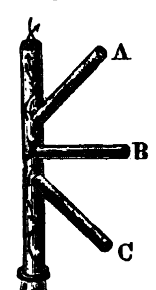
Obgleich fast bei allen Localitäten durch die Fugen der Thüren und Fenster, unter günstigen Umständen auch durch die Poren der Wände eine grosse Menge Luft eindringen kann, so kommt es doch vor, dass diese Luftmenge nicht genügt, das Feuer gehörig zu nähren, oder die Luftströmung nach dem Principe der communicirenden Röhren zu unterhalten. Es würde in diesem Falle zweckdienlich sein, eine Thür oder ein Fenster zu öffnen. Das wäre aber in der Regel aus anderen Rücksichten unangenehm. Man helfe also ein- für allemal dadurch, dass man vom Freien her oder von einem Vorplatze, wo die

äussere Luft ungehindert zufliessen kann, einen Luftkanal in den geschlossenen Raum, oder direct nach dem Roste der Feuerung führt.

2) Das Zurückfliessen des Rauches nach einem auch nicht geheizten Raume, der jedoch mittels eines Herdes, Windofens oder sonstwie mit dem Schornstein in Verbindung steht, tritt ziemlich häufig bei einem zu weiten Schornstein ein, sobald in der Küche oder in irgend einem der Oefen gefeuert wird. Die Entstehung der Doppelströmung, die den erwähnten Uebelstand im Gefolge hat, ist leicht zu erklären.

Betrachten wir hier den besonders schlimmen und nicht seltenen Fall, dass der sehr weite Schornstein mit einer Küche mittels der sehr grossen Oeffnung des Rauchmantels in Communication steht. Die Luft in der Küche ist in der Regel, namentlich aber während darin gefeuert wird, wärmer als die äussere Luft. Nun fliesst eine grosse Masse der Küchenluft durch den weiten Schornstein empor, und zwar mehr, als bei gut schliessenden Thüren und Fenstern und dichten Wänden eindringt, indem sich die äussere kalte Luft, die ziemlich ungehindert von oben in den weiten Schornstein gelangen kann, daselbst unmittelbar mit der wärmeren Luft ins Gleichgewicht zu setzen strebt. So entsteht eine Doppelströmung, welche leicht das theilweise Zurückfliessen des Rauches zur Küche und in die verschiedenen Oefen u. s. w. veranlasst, sobald an irgend einer Stelle des Schornsteins Rauch einfliesst.

Fig. 401.



Man soll desswegen immer oberhalb des Rauchmantels, wo ein solcher und ein weiter Schornstein vorhanden ist, eine Dreh-, Zug- oder Schiebeklappe anbringen, die man schliesst, wenn man nicht ein offenes Feuer unter dem Rauchmantel unterhält, und für letzteren Fall muss für hinreichenden Luftzufluss zur Küche oder besser unmittelbar durch einen Luftkanal zum Feuer gesorgt sein. Zweckmässig ist hierbei die Verengung der oberen Schornsteinmündung und das Aufsetsen einer Kappe.

Um den vorliegenden Fall im Wege des Experiments zu veranschaulichen, befestigte ich eine Glasröhre auf einer Flasche (Fig. 401). Es war zuerst nicht möglich, durch Einblasen von Rauch in die Röhre solchen bis in die Flasche hinabzubringen, was jedoch sogleich mit grosser Leichtigkeit geschah, sobald die Flasche auf den warmen Ofen gestellt wurde. Es entstand nun eine

Doppelströmung in der Röhre, und zwar (so dass man gleichsam den Kampf der reinen Luft und des Rauches von anderer Temperatur, die sich in jedem Querschnitte ins Gleichgewicht zu setzen strebten, beachten konnte) nach Schraubenlinien. In dieser Weise floss der nach nirgend einer Richtung eingeblasene Rauch hinab, in circulirender Bewegung in der Flasche herum und wieder in Spiralen empor. In Folge dieser Doppelströmung und vermöge der Inertie der bewegten Rauchtheilchen floss von Zeit zu Zeit eine kleine Rauchmenge in die Röhrchen A, B und C. Diese Strömung hörte alsbald auf, nachdem die Flasche vom Ofen weggenommen war. Bei einem späteren Versuche auf dem Ofen war nichts weiter als eine ruhige Strömung nach oben zu bemerken, sobald ein Loch in den untern Theil der Flasche geschlagen war. — Es wird nicht nothwendig sein, diese Erscheinungen hier näher zu erklären.

3) Häufig raucht es, weil die Schornsteinwände kälter sind als die äussere Luft, den Rauch zu schnell abkühlen; oder weil das specifische Gewicht der äusseren Luft durch Feuchtigkeit oder durch Wärme oder durch gleichzeitige Einwirkung beider Ursachen zu gering ist, um ein hinreichendes Uebergewicht über die Luftsäule im Schornstein zu erhalten. — In solchen Fällen erzeuge man möglichst schnell mittels sehr kleinen trocknen Brennmaterials (Hobelspäne, Reisig, auch Papier, Stroh u. dgl.) eine starke Flamme. Uebrigens bringt bei Anwendung einer guten Schornsteinkappe ein mässiger Wind schon einen Zug hervor, der dem mittels einer bedeutenden Erwärmung des Schornsteins zu erreichenden Zuge entspricht; und völlige Windstille ist in der Atmosphäre niemals vorhanden.

4) Es raucht zuweilen auch, oder der Zug ist wenigstens ein sehr geringer, weil zu viel kalte Luft in den Schornstein gelangen kann. Dieses ist erstens bei der offenen Herdfeuerung unter einem Rauchmantel der Fall; zweitens, wenn mehrere Oefen in denselben Schornstein münden, indem wie oben gezeigt, durch Heizen in dem einen ein Zug in sämmtlichen hervorgerufen wird.

Der offenen Herdfeuerung ist immer der geschlossene Sparherd mit abzunehmenden Ringstücken vorzuziehen; es lassen sich durch diesen dieselben Zwecke erreichen, wie durch jene, und auf angenehmere und mehr ökonomische Weise.

Was den zweiten Fall betrifft, so ist eben darauf zu achten, dass die Thüren der Feuer- und Aschenräume sowie die Ringöffnungen der Kochplatten nicht unnützer Weise offen bleiben. Wenn keine Gefahr damit verknüpft wäre, würde man es empfehlen können, die Rauchröhren

mit Klappen zu versehen, welche man erst dann vollständig öffnet, wenn in dem betreffenden Ofen gefeuert wird.

Schornsteinkappen gewähren in beiden Fällen sehr gute Dienste. Immerhin muss gerathen werden, nicht zu viele Feuerungen in den nämlichen Schornstein münden zu lassen, und namentlich nicht Feuerungen verschiedener Stockwerke (§. 212 und 213), ohne Anwendung entsprechender Vorsichtsmassregeln.

5) Nicht selten raucht es, weil der Schornstein neu ist. Ein neu gemauerter Schornstein enthält nämlich eine grosse Menge Feuchtigkeit; indem das Wasser sich in Dampf verwandelt, bindet es eine grosse Menge Wärme, folglich entsteht eine Temperaturerniedrigung im Schornstein. Durch eine Schornsteinkappe kann das Austrocknen wegen des fast beständigen Zuges, den der Wind veranlasst, in hohem Grade beschleunigt, das Rauchen selbst auch verhindert werden.

Es ist mir ein Fall bekannt, dass der Rauch bei einem mehrstöckigen Hause in ein Zimmer des ersten Stockes durch den Windofen herabfloss, dessen Rauchröhre mit einem neuen Schornstein in Verbindung stand, und zwar, was gewiss Erwähnung verdient, obgleich keine Feuerung im ganzen Hause benützt wurde, welche ihren Rauch diesem Schornstein zuführte.

Es kam aber neben dem neuen Schornstein ein älterer aus dem Dache hervor; der Rauch von diesem breitete sich über der Mündung des neuen aus und sank daselbst hinab. Da nämlich die kältere Luftsäule des neuen Schornsteins selbst von der wärmeren Atmosphäre nicht gehoben werden konnte, sondern beständig hinabsank, so wurde leicht der Rauch mit hinabgenommen; und kam nun noch ein ungünstiger Wind dazu, welcher den Rauch aus dem rauchenden Schornstein nach der Mündung des neuen hintrieb, so musste das Hinabfliessen des Rauches in diesem ein sehr bedeutendes sein, und war es in der That. — Nachdem der Schornstein völlig ausgetrocknet war, wurde auch der erwähnte Uebelstand nie mehr wahrgenommen. Zu bemerken ist noch, dass die beiden Schornsteine weder überdeckt, noch mit einem sonstigen Apparate versehen waren, dass auch keine Abänderung vorgenommen worden ist.

6) Aus dem Vorausgehenden ist zu folgern, dass es zuweilen auch desswegen rauchen kann, weil der Schornstein durch einfallenden starken Regen zu nass und dadurch zu kalt geworden ist (§. 207). Man halte also den Regen durch eine Schornsteinkappe ab.

7) Wie oben (§. 206) ausführlicher dargelegt, raucht es oft, weil die Sonnenstrahlen in den Schornstein eindringen.

Am besten hilft da eine Schornsteinkappe aus Metall und mit schwarzem Anstrich.

8) Es raucht momentan bei einem im Zimmer geheizten Ofen, wenn plötzlich eine Luftmasse aus dem Zimmer verdrängt oder weggerissen, und deren Raum nicht zugleich durch einen anderen Körper oder wieder durch Luft von einer anderen Seite her ausgefüllt wird. Dieses bemerkt man häufig, wenn eine Thür heftig zugeschlagen wird, welche sich nahe am Ofen befindet und die sich nach dem anliegenden Raume hin schliesst. Es wird nämlich durch die sehr schnell zufallende Thür ebenso schnell die vorher an der Seite der Thür gelagerte Luftmasse aus dem Zimmer geschafft, es entsteht absolute Luftverdünnung; das Uebergewicht des äusseren Druckes gegen die Feuerthür ist momentan aufgehoben, es tritt eine Rauchwolke, häufig auch eine Feuerzunge aus dem Ofen. Solches geschieht aber nicht, wenn man vor dem Zuwerfen der Thür ein Fenster geöffnet hat. Dadurch ist offenbar die gegebene Erklärung gerechtfertigt.

Um hier vorzubeugen, könnte man die Thür umsetzen, so dass sich dieselbe von dem anderen Raume gegen dieses Zimmer hin schliesst. Dieses ist aber unthunlich, wenn auch jener andere Raum vielleicht ein Zimmer ist, welches in ähnlicher Weise geheizt wird; denn alsdann hätte man dort denselben Uebelstand.

Man kann durch Vergrösserung der absoluten Luftverdünnung im Schornstein mittels einer Kappe nachhelfen; allein diese nützt zu wenig bei ziemlich ruhiger Atmosphäre. — Da der erwähnte Fall des Rauchens bei einem hohen Schornstein von geringer Weite, wie die Erfahrung zeigt, nicht vorkommt, häufig aber, wo der Ofen unmittelbar in einen zu weiten Schornstein mündet, so ist die Abhülfe sehr nahe gelegt. Die geringe Rauchmenge, welche der Ofen liefert, ist nicht im Stande, die Luftsäule des Schornsteins in dem Grade zu erwärmen, dass zu irgend einer Zeit der äussere Druck an der Feuerthür ein sehr grosses Uebergewicht haben kann. Ein viel grösseres Uebergewicht ist nun dadurch zu veranlassen, dass man den warmen Ofenrauch auf einige Höhe zusammenhält. Man führe also (je höher desto besser) eine Röhre aus Eisenblech oder Thon als Fortsetzung der Rauchröhre des Ofens empor, bilde so gewissermassen für den Ofen einen besonderen engen Schornstein in dem weiten.

Ganz dasselbe ist für den Fall zu bemerken, wenn ein heftiger Windstoss von einer solchen Himmelsgegend her wirkt, dass die Fenster demselben nicht zugekehrt liegen.

So vortheilhaft der gegen die Fenster pressende Wind auf Speisung

des Feuers wirkt, so schädlich ist der Wind in anderer Richtung. Es werden durch letzteren die Lufttheilchen zunächst am Fenster, wo solche einfliessen sollten, mit fortgerissen, es entsteht so absolute Luftverdünnung im Zimmer, der Zug ist gehemmt, die Rauchsäule sinkt zurück.

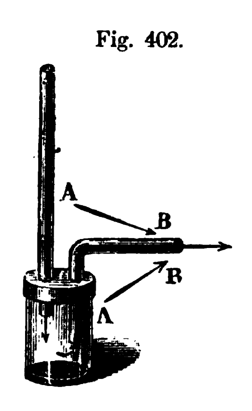
Die Abhülfe geschieht wie im vorher erwähnten ganz ähnlichen Falle durch eine Schornsteinkappe und engere verticale Rauchröhre.

Wo ein besonderer Luftkanal aus dem Freien zur Feuerung angelegt ist, kann der Zug gerade so gehemmt werden, sobald eine Luftmasse vor der äusseren Mündung durch den Wind fortgerissen wird. Vorrichtungen, welche den Wind bei jeder Richtung günstig leiten, eine Pressung anstatt der absoluten Luftverdünnung veranlassen, sind ohne besondere Schwierigkeit zu construiren. Weiter unten wird ein ähnlicher Fall zur Sprache kommen.

Die soeben aufgeführten Vorgänge mögen durch folgendes Experiment zur Anschaulichkeit gebracht werden (Fig. 402).

Ein mit Rauch gefülltes Glas wird mittels einer Scheibe oder eines Deckels aus Pappe ziemlich dicht geschlossen. An der Scheibe befindet sich eine verticale Röhre und eine andere, die über dem Glase nach irgend einer Richtung umgebogen ist. Erwärmt man das Glas, so fliesst reine Luft durch die gekrümmte Röhre ein, und Rauch durch die verticale Röhre aus. Sobald man aber in der Richtung $A B$ mit dem Munde oder mit einem Blasebalg bläst oder eine Papptafel schnell von der Mündung hinwegbewegt, ist die Strömung augenblicklich umgekehrt. Es fliesst reine Luft durch die verticale Röhre herab und der Rauch kommt aus der gekrümmten Röhre hervor.

Fig. 402.

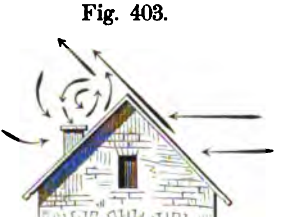


9) Das Rauchen ist am häufigsten durch einen abwärts geneigten Wind veranlasst, welcher direct in die Mündung des Schornsteins gelangen kann, die ganze Rauchsäule zurückdrängt, oder, auf einer Seite herabgleitend, einen Theil des Rauches wieder mit sich herabreisst. Dieses ist an und für sich deutlich, und ebenso auch, dass man gegen solche Fälle saugende Windkappen anzuwenden hat.

10) Auch ein horizontaler oder aufwärtsgerichteter Wind kann das Rauchen veranlassen, wenn hinter einem höheren Gegenstande, auf welchen der Wind stösst (Mauer, Dachfirst u. dgl.),

ein Schornstein sich befindet (Fig. 403). Indem nämlich der überfliessende, nach oben gelenkte Wind zunächst die oberen Luftschichten an der anderen Seite mit sich reisst, denen tiefere folgen, die wieder theilweise von oben ersetzt werden müssen, so bildet sich ein Luftwirbel in der Nähe des Schornsteins, und die Folge davon ist, dass abwärtsgerichtete Massen der Wirbelströmung vermöge ihrer Inertie in den Schornstein gelangen.

Fig. 403.



Man hilft sich hier durch eine oben gedeckte Schornsteinkappe, oder auch durch Erhöhung des Schornsteins über den höheren Gegenstand.

11) Es raucht, weil der Schornstein von mehreren Seiten von hohen Gegenständen umgeben ist, zwischen welchen die Luft bei einigen bestimmten Windrichtungen eine bedeutende Pressung erleidet (Fig. 404).

In solchem Falle genügt es nicht, dass das unmittelbare Eindringen des schrägen oder vertical herabgelenkten Windes durch eine Schornsteinkappe abgehalten werde; es sind da nicht die in der Richtung des Luftstroms bewegten Lufttheilchen, welche vermöge der Inertie sonst häufig in den Schornstein gelangen, — es sind hier Theile der ruhigeren gepressten Luftmasse, die bei jeder Richtung der Schornsteinmündung einen gleich störenden Druck auf die Luftsäule in demselben ausübt. Daraus folgt, dass man den Schornstein über jene höheren Gegenstände, also über die gepresste Luft emporführen muss.

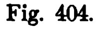
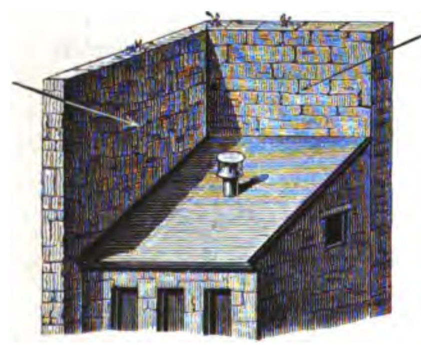


Fig. 404.



Solche Luftstauungen kommen auch bei freistehenden hohen Gebäuden über den Dachflächen vor, gegen welche der Wind gerichtet ist. Man sollte desshalb die Schornsteine immer über Firsthöhe führen.

12) Das Herabfliessen des Rauches in das durch einen Windofen

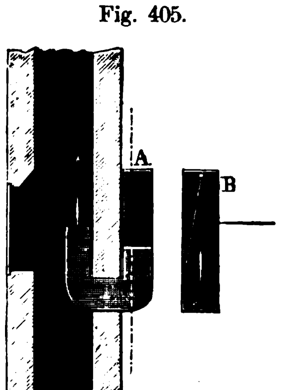
geheizte Zimmer ist zuweilen durch einen Wind veranlasst, der selbst an der Mündung des Schornsteins eine für den Zug besonders günstige Richtung hat. Dieser Fall kann auch — und gerade erst recht störend — bei der Anwendung einer sehr gut saugenden Windkappe vorkommen.

Ist nämlich — um eine kurze allgemeine Betrachtung vorauszuschicken — die Luft in einer unten geschlossenen verticalen Röhre durch einen aufwärtsgerichteten Wind momentan absolut verdünnt worden, so muss offenbar bei dem Nachlassen der saugenden Wirkung des Windes sich die Röhre wieder mit dichterer Luft füllen, die auf keinem anderen Wege als von oben einfliessen kann.

Ist nun auch der Schornstein unten nicht vollständig geschlossen, aber vielleicht durch eine kleine Oeffnung an der Feuerthür oder am Aschenfall mit der Zimmerluft u. s. w. in Communication, so sind die Bewegungshindernisse leicht zu bedeutend, als dass die durch starke absolute Luftverdünnung nöthig gewordene Luftmenge mit der erforderlichen Schnelligkeit aus dem Zimmer in den Schornstein gelangen kann; die äussere Luft fliesst wie vorhin von oben herab, übt vermöge der angenommenen Geschwindigkeit einen plötzlichen Stoss auf die tiefere ihr begegnende Rauchsäule aus, und die Folge davon ist, dass eine Menge Rauch in das Zimmer gelangt.

In solchem Falle wird man die Schornsteinkappe, die hier freilich einige Schuld trägt, nicht entfernen, da sie sich jedenfalls unter sehr vielen anderen Umständen zweckdienlich erweist. Man kann nun dadurch helfen, dass man am unteren Theile des Schornsteins durch eine Röhre Luft aus der Atmosphäre oder von einem der äusseren Luft leicht zugänglichen Raume in den Schornstein einfliessen lässt. Zweckmässig ist es hierbei, diese Zuflussröhre noch auf einige Höhe im Schornstein vertical emporzuführen und dieselbe aussen mit einer Vorrichtung zu versehen, durch welche der von der einen oder anderen Seite die Mündung der Röhre bestreichende Wind gezwungen ist, in den Schornstein einzufliessen. Eine solche Vorrichtung ist in Fig. 405 bei *A* in der Seitenansicht (der Schornstein ist unmittelbar vor der Röhre durchschnitten gedacht), bei *B* im mittleren verticalen Durchschnitte angedeutet. Die

Fig. 405.



Röhre ist dabei von quadratischem Querschnitt angenommen, ist nach zwei Seiten hin offen, und zwischen beiden Oeffnungen ist eine Tafel von geringem Gewichte aufgehängt, welche durch den Wind leicht nach der einen oder anderen Seite hin angedrückt wird, so dass dieser in die Röhre und so in den Schornstein emporfliessen muss.

Man wird mir von verschiedenen Seiten einwenden, dass, wie auch oben erwähnt, die Zuführung kalter Luft in den Schornstein dem Zuge nachtheilig sein müsse. Das allerdings, wenn es sich darum handelt, durch relative Luftverdünnung den Zug hervorzubringen. Indessen kommt es im vorliegenden Falle auf die Erwärmung des Schornsteins nicht viel an; denn bei sehr ruhiger Luft ist die durch das Feuern erzielte Wärme zur Hervorbringung der aërostatischen Differenz immer noch gross genug, und bei jedem Winde wirkt die Schornsteinkappe im Vereine mit angegebener Vorrichtung vortrefflich. Ich selbst hatte Anfangs einiges Bedenken, diese von mir erdachte Einrichtung ausführen zu lassen; allein sie hat sich vollkommen bewährt.

13) Häufig raucht es, weil die Rauchzüge durch Russ zu sehr verengt oder gar verstopft, oder weil die Fugen der Ofen- oder Herdplatten, Rauchröhren u. dgl., namentlich an verengten und gekrümmten Stellen nicht dicht genug geschlossen sind. — Man lasse häufig reinigen und die Fugen gut verstreichen.

14) Es raucht, weil die Klappe an der Rauchröhre nicht genug geöffnet ist. — Man soll dieselbe natürlich nicht früher schliessen, bis durchaus kein Feuer und keine glühende Kohle mehr im Ofen ist. Auch soll überhaupt um die schon oft durch Unvorsichtigkeit entstandenen Erstickungsfälle zu verhüten, die Klappe nicht vollständig schliessend ausgeführt werden. Da sich jedoch kleine Schlitze oder Löcher leicht verstopfen können, so ist zu wünschen, dass die Anwendung der Ofenklappen überall polizeilich verboten wird. Zur Begründung dieses Ausspruchs entnehme ich der deutschen Bauzeitung vom 14. Februar 1880 folgende Notiz: „Betroffen sind in Berlin während des einen Jahres 1879 von zu frühzeitigem Schluss der Ofenklappen 35 Personen, getödtet darunter 21.“

15) Zuweilen kommt es vor, dass es raucht, weil in communicirenden Räumen, die mit zwei oder mehreren Schornsteinen versehen sind, der eine (sei es wegen besserer Construction, oder wegen stärkerer Heizung, oder in Folge äusserer Einflüsse) besser zieht als der andere. Es fliesst dann nach dem Princip der communicirenden Röhren äussere Luft, folglich auch während der Heizung der Rauch, durch den schlechter ziehenden Schornstein herab. Man lasse

durch besondere Luftkanäle hinlänglich viel äussere Luft zu den betreffenden Feuerungen fliessen.

16) Es raucht, weil bei offenem Feuer auf dem Herde eine von der Seite veranlasste heftige Luftbewegung (vielleicht weil ein Fenster offen, oder weil sich einige Oeffnungen auf verschiedenen Seiten der Küche befinden, so dass die äusseren Windstösse ihre unmittelbare Wirkung auf die Feuerung äussern) den Rauch nach irgend einer Seite vom Herde wegtreibt. Die Ursache des Rauchens ist in solchem Falle leicht zu erkennen und zu beseitigen.

17) Leicht raucht es in geheizten und nicht geheizten Räumen, die durch einen gemeinschaftlichen Schornstein communiciren, wenn die Einmündungen der Rauchröhren fehlerhaft angebracht sind.

Liegen z. B. zwei solche Mündungen einander nahezu gegenüber, so stossen die Rauchtheilchen, sobald aus der einen Röhre mit einiger Geschwindigkeit Rauch ausfliesst, mit solcher Heftigkeit wider die gegenüberliegende Mündung, dass nicht nur die aus oben erklärten aërostatischen Ursachen entstehende aufwärtsgehende Luftbewegung auf jener Seite gehemmt wird, sondern sogar eine Menge Rauch durch den kalten Ofen hinab in das Zimmer getrieben werden kann. Wird in beiden Oefen zugleich gefeuert, so hemmen sich die beiden Rauchströme durch den gegenseitigen Stoss, der Zug wird auf beiden Seiten in hohem Grade geschwächt. Man soll desswegen die Einmündungen der Rauchröhren in möglichst grossen Entfernungen von einander anbringen.

Zuweilen findet man die Rauchröhren abwärts geneigt in den Schornstein eingeführt. Dieser Anordnung liegt die Absicht zu Grunde, theils die an den Schornsteinwänden herabrinnende Flüssigkeit, theils den herabgleitenden Wind und erkalteten Rauch aus der Röhre abzuhalten. Man bewirkt aber durch diese Einrichtung, dass der im Schornstein sich erhebende Strom der Luft oder des Rauches viel leichter in die Röhre gelenkt wird, was oft schlechten Zug des Ofens und Rauchen in geheizten und nicht geheizten Räumen zur Folge hat.

Da man gegen das Herabgleiten des Windes und Regens durch eine Schornsteinkappe Vorsorge treffen kann, so ist es am zweckmässigsten, den Rauch in schräger Richtung nach oben in den Schornstein münden zu lassen, bei einem sehr weiten besteigbaren Schornstein aber vollkommen vertical mittels einer noch weiter emporgeführten Röhre, die ein wenig von der Wandung absteht.

Die etwa herabrinnende Schornsteinflüssigkeit, die durch Condensation

der Dämpfe entsteht, kann man bei dem engen Schornstein durch geringes Vorschieben des Röhrenrandes oder bei anderer Einrichtung mittels eines nur wenig vorstehenden Ringes (wie in §. 211 Fig. 261 angedeutet), welcher beim Reinigen des Schornsteins nicht hinderlich ist, aus der Rauchröhre abhalten.

Es lassen sich wohl noch andere Umstände angeben, die das Uebel des Rauchens im Gefolge haben; doch sind die aufgezählten Ursachen die hauptsächlichsten.

Die in diesen Blättern gemachten Mittheilungen werden ohne Zweifel eine Grundlage bilden können, auf welcher fussend der nachdenkende Leser im Stande ist, bei Anordnung häuslicher Feuerungsanlagen schlimme Versehen, die das Rauchen veranlassen würden, zu vermeiden, misslichen äusseren Einflüssen vorzubeugen und auch für die Verbesserung alter, verfehlter Anlagen geeignete Vorkehrungen zu treffen.

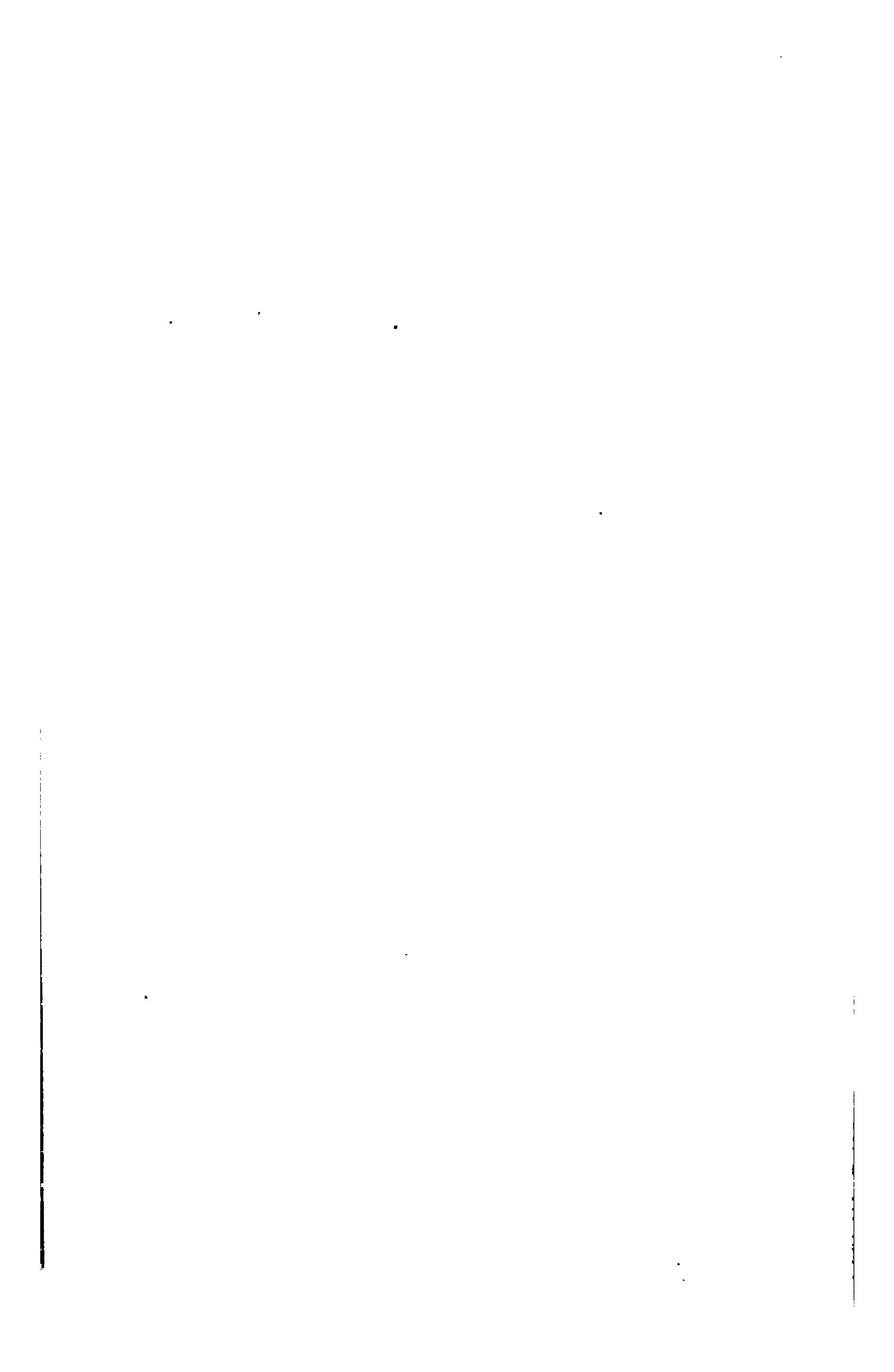
Druck von M. Bruhn in Braunschweig.

ANHANG.

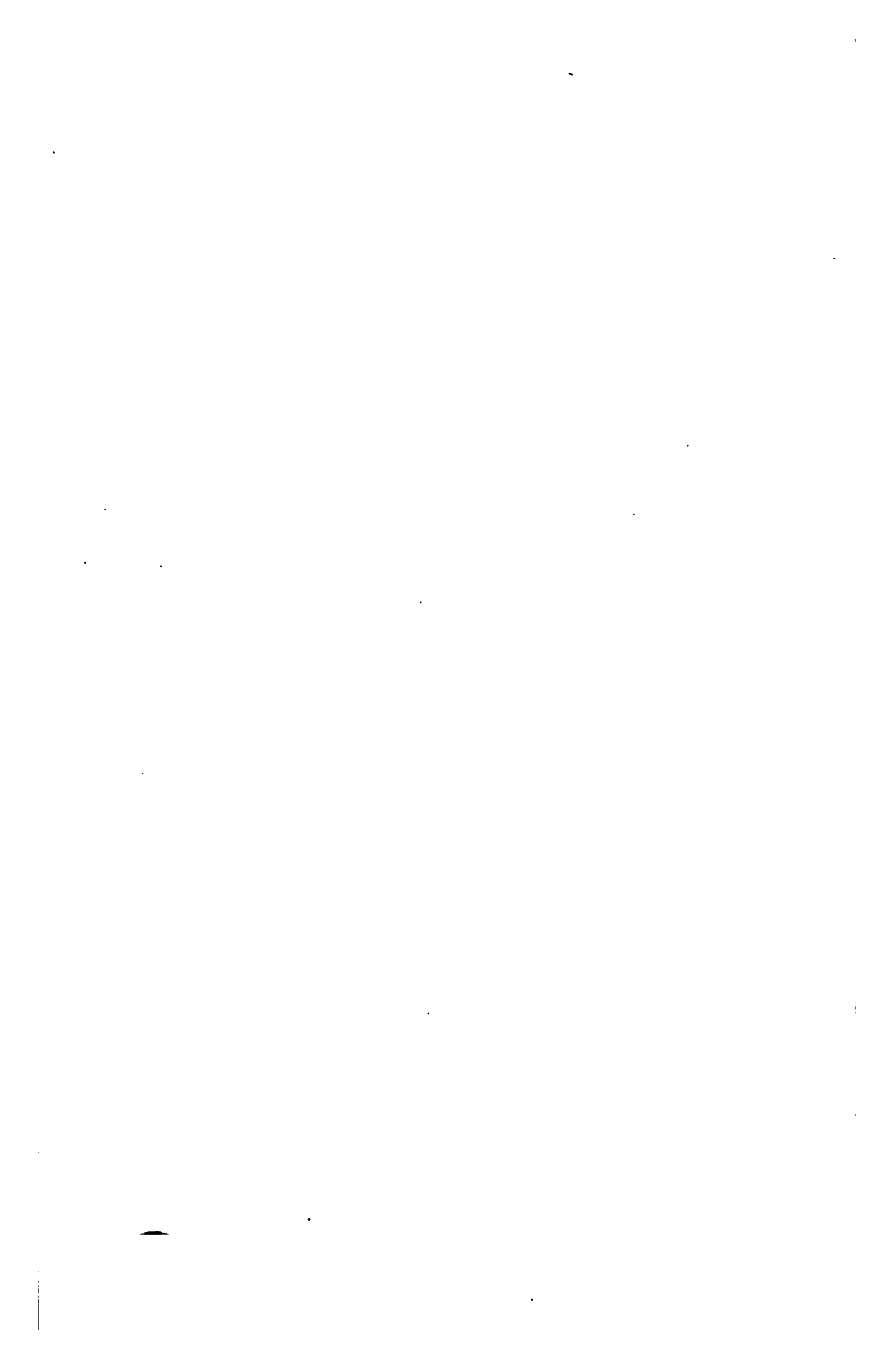
SIEBEN ABHANDLUNGEN

AUS DER

WOHNUNGS-HYGIENE.



INHALT.



Erste Abhandlung.

Ueber Reinheit der Zimmerluft.

Erster Theil.

Grundlagen für Berechnung des nöthigen Luftwechsels und für Erkennung des Grades der Luftverunreinigung.

Den Vorgang der Luftverunreinigung in einem geschlossenen Raume durch die Anwesenheit von Menschen oder Thieren erklärt man bis in die neueste Zeit noch häufig — gleichwie vor mehr als hundert Jahren Lavoisier vor der société de médecine zu Paris — in der Weise, dass durch das Athmen fortwährend Sauerstoff verbraucht und Kohlensäure geliefert werde, und dass eben schon geringe Abnahme des Sauerstoffs als der Lebensluft, wie auch geringe Zunahme der Kohlensäure als eines giftigen Gases, die Zimmerluft zu weiterer Benützung als Lungenspeise untauglich mache.

Aus den Mittheilungen in § 97 und § 101 dieses Buches*) geht indessen hervor, dass, wenngleich die Hauptquelle der Luftverschlechterung in unsern Wohnungen die Thätigkeit des menschlichen Organismus, die Respiration und Perspiration ist, wir doch keineswegs in der Verminderung des Sauerstoffs oder in der Vermehrung der Kohlensäure die gewöhnliche Ursache der Luftverschlechterung zu suchen haben; dass wir keiner sehr sauerstoffreichen Luft zum Athmen bedürfen, dass in reiner Luft der Sauerstoff fast um ein Drittel seiner normalen Menge vermindert sein darf, ohne dass wir davon eine unangenehme Empfindung oder einen Nachtheil haben, und dass uns ein Kohlensäuregehalt von

---

*) 2. Auflage. 1880. Hierauf bezieht sich auch der weiterhin öfters vorkommende Hinweis mit der Bezeichnung: ds. Bs.

10 Promille und noch weit mehr keine Belästigung verursacht, wenn sonst die Luft gut ist, wenn die Kohlensäure nicht als Athmungsproduct vorhanden, sondern aus kohlensauren Salzen entwickelt ist oder wie in Bergwerken der Erde entquillt.

Ferner geht aus dem dort Gesagten hervor, dass hauptsächlich die flüchtigen Ausscheidungen von Haut und Lungen es sind, welche die Zimmerluft verderben, welche wir also qualitativ und quantitativ ermitteln sollten, um die Luft zu prüfen, dass man aber, weil diese Ermittlung noch nicht gelungen ist, nach von Pettenkofer annimmt, unter gewöhnlichen Verhältnissen sei die Anhäufung der schädlichen organischen Exhalationsstoffe der Menge der zugleich ausgeschiedenen Kohlensäure proportional, wonach die Anhäufung der Kohlensäure als Massstab für den Grad der Luftverunreinigung durch Respiration und Perspiration gilt, und zwar in der Weise (nach § 109 ds. Bs.), dass man als untauglich für einen beständigen Aufenthalt jede Luft erklärt, welche infolge der Respiration und Perspiration der Bewohner mehr als 1 Promille Kohlensäure enthält.

Daran hat sich seit 1880 nichts geändert. Mehrseitig hat man zwar den Kohlensäuremassstab bemängelt, ohne jedoch etwas Besseres an seine Stelle setzen zu können. Auch heute noch bilden Kohlensäureermittlungen eine einfache und zweckmässige Grundlage für die Beurtheilung der Art und des Umfangs von Mitteln zur Erhaltung reiner Luft in Wohnräumen, wie auch die Kenntniss der von Menschen und Thieren und unter Umständen von Beleuchtungsflammen voraussichtlich in einem bestimmten Raume erzeugten Kohlensäuremenge als Grundlage für die Berechnung des nöthigen Ventilationsquantums dient.

Auch Ed. Deny*) stimmt der Annahme bei, dass die Luft in Wohnräumen um so reiner ist, je weniger Kohlensäure sie enthält, wegen der sie begleitenden flüchtigen organischen Stoffe, und ist der Meinung, dass in der Praxis eine Maximalmenge von 0,002 Kohlensäure zugelassen werden kann, in einer etwas grösseren Höhe als derjenigen, in welcher die Athmung stattfindet, Räume vorausgesetzt, wo sich gesunde Menschen befinden und die Oeffnungen für die Zuluft und Abluft so angebracht sind, wie er es als rationell darstellt. (Hiervon in der zweiten Abhandlung.) Er berechnet danach für einige Fälle die nöthigen Luftmengen, so z. B. für eine Person von 20 bis 24 Jahren stündlich 15,3 Kubikmeter.

*) Die rationelle Heizung und Lüftung. Preisgekrönte Schrift von Ed. Deny. Deutsche Ausgabe mit einem Anhang über die Vervollkommnung der Heiz- und Lüftungsanlagen. Von E. Haesecke. Berlin 1886. Seite 4.

Vorher (Seite 1 u. 2) sagt Deny, wenn die Athmung die einzige Ursache der Luftverschlechterung wäre und die ausgeathmete Luft sich nicht mit eingeathmeter mischte, würde es genügen, jeder Person das Volumen der ausgeathmeten Luft zukommen zu lassen, nämlich $^1/_3$ Kubikmeter frische Luft in der Stunde. Weil aber die dampfförmigen Ausscheidungen der Lunge und Haut unzweifelhaft die erheblichste Ursache der Luftverderbniss in bewohnten Räumen seien, würde es „weit angemessener sein, jeder Person dasjenige Luftquantum zuzuführen, welches nöthig ist, den durch die Ausdünstung erzeugten Wasserdampf aufzunehmen.“

Da nun das Gewicht des durch Ausdünstung der Lunge und Haut entstehenden Wasserdampfes 45 bis 77 Gramm sei und 1 Kubikmeter mit Wasserdampf gesättigter Luft von 15° ungefähr 13 Gramm Wasserdampf enthalte, so würde, wenn die Luft wie gewöhnlich in der Atmosphäre sich im Zustande halber Sättigung befände, das zur Lüftung nöthige Volumen

$$\frac{45}{6,5} = 6,92 \text{ bis } \frac{77}{6,5} = 11,84 \text{ Kubikmeter}$$

betragen. „Zwischen diesen Grenzen also würde die Luftmenge liegen, wenn die Luft, welche die Producte der Athmung und Ausdünstung aufnimmt, entfernt werden könnte, um frischer Luft Platz zu machen, ohne sich mit derselben zu vermischen.“

Diese Ausführungen, sowie auch die weiteren auf den folgenden Seiten von Deny's Preisschrift, sind nicht neu, sondern genau dieselben, welche Péclet vor 30 Jahren in seinem Werke Traité de la chaleur unter den allgemeinen Betrachtungen über die Erwärmung und Lüftung der Wohnungen gegeben hat.

Haesecke sagt nun in seinen Bemerkungen zu der Schrift (S. 70), es wäre angemessener, jeder Person dasjenige Luftquantum zuzuführen, welches nöthig ist den durch die Ausdünstung erzeugten Wasserdampf aufzunehmen, als, wie es bisher üblich gewesen, als Mass der Verunreinigung der abgeschlossenen Luft die Kohlensäure zu betrachten, welche dieser Luft durch den Lebensprocess hinzugefügt wird, und hiernach die zur Lüftung erforderliche Luftmenge zu berechnen. Diese Methode sei unzweckmässig, weil es an einer einfachen, jederzeit thätigen Controle fehle und fehlen werde, den beabsichtigten Grad der Luftreinheit mit hinlänglicher Genauigkeit prüfen zu können. Dagegen lasse sich die Feuchtigkeit der Zimmerluft im Verhältniss zu der der einströmenden Luft jederzeit leicht nachweisen. Die Feststellung des Kohlensäuregehaltes der Luft möge einen medicinischen Werth haben, einen tech-

nischen habe sie sicher nicht, da man sie nicht beliebig vornehmen und in der nöthigen Schärfe momentan erhalten könne. Wenn man aber aus dem Hygrometer ersehe, dass der absolute Feuchtigkeitsgehalt in der Höhe des Raumes, in der die Athmung erfolgt, nicht wesentlich höher sei als im Aeussern, so könne man auch überzeugt sein, dass der Raum genügend reine Luft habe (Seite 94).

Uebrigens bezeichnet Haesecke die Berechnung der Luftmenge auf 6,92 bis 11,84 Kubikmeter als nicht ganz zutreffend; denn um bei den angegebenen Mengen der dampfförmigen Ausscheidungen den Zustand der halben Sättigung nicht zu überschreiten, müsse die Luft absolut trocken eingeführt werden, was unmöglich, und wenn sie von halber Sättigung bei der Einführung, werde sie mit vollständiger Sättigung abgeführt, was wegen der leicht entstehenden Niederschläge und der Nachtheile für die Gesundheit gewiss nicht zweckmässig wäre. Das ist richtig und gibt auch in Verbindung mit den daran geknüpften Folgerungen — es lasse sich ein Mittelweg einschlagen und dann würden wohl 12 Kubikmeter und bei Kranken vielleicht das Doppelte bei angemessener Zu- und Abführung erforderlich sein, das Luftquantum müsse überdies mit dem Feuchtigkeitsgrade der eingeführten Luft wechseln — schon einigermassen die Unsicherheit und die Schwierigkeiten in der Anwendung dieser Methode zu erkennen, deren Werth durch die folgenden Betrachtungen noch geringer erscheinen wird.

Stellen wir die beiden Methoden einander gegenüber und bezeichnen wir dieselben kurz als die des Kohlensäuremassstabs und des Dampfmassstabs. Wir brauchen einen solchen Massstab erstens bei dem Entwurf einer Lüftungsanlage, zur Berechnung des nöthigen Ventilationsquantums, dann zweitens für die Controle der Lüftung oder überhaupt für die Prüfung der Zimmerluft auf ihre Reinheit. Es könnte sich nun möglicherweise der Dampfmassstab wenigstens für einen der beiden Zwecke besser eignen. Das soll jetzt untersucht werden.

Für die Berechnung des Ventilationsquantums setzen wir ein rationelles System voraus und mögen hier die Beleuchtungsflammen unberücksichtigt lassen, weil die Verbrennungsproducte möglichst rasch aus dem Bereiche der Athmung weggeführt werden sollen.

Für die Anwendung des Kohlensäuremassstabs haben wir hierbei vor Allem den günstigen Umstand, dass der Kohlensäuregehalt der Luft im Freien immer sehr gering, fast constant ungefähr 0,3 Promille ist und auch der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft ziemlich constant, ungefähr 4 Procent.

Dagegen wechselt die Dampfmenge in einem Kubikmeter Luft im

Freien zwischen weniger als 1 Gramm und mehr als 20 Gramm, und die durch Lunge und Haut eines Erwachsenen stündlich ausgeschiedene Wassermenge variirt nicht nur zwischen 45 und 77 Gramm, wie von Deny nach Péclet angegeben, sondern zwischen 35 und 100 Gramm (§ 98 ds. Bs.).

Für die Berechnung nach dem Kohlensäuremassstab hat man also eine ziemlich feste Grundlage, ohne in der Berücksichtigung besonderer Fälle beschränkt zu sein, da man nach den Untersuchungen von Andral und Gavarret, Scharling, Pettenkofer u. C. Voit, Breiting weiss, dass die von einem Erwachsenen stündlich ausgeschiedene Kohlensäure im Mittel ungefähr 20 Liter beträgt, aber je nach Geschlecht, Alter, Körperstärke, Ruhe, Bewegung von etwa 9 bis 36 Liter veränderlich ist (§ 109 ds. Bs.), und da auch dem sachgemässen Entschlusse der an der Feststellung des Entwurfs Betheiligten es überlassen bleibt, ob sie hohe oder geringe Anforderungen stellen, ob sie sehr reine Luft von vielleicht nur 0,7 Promille Kohlensäuregehalt verlangen oder aus begründeten Rücksichten sich mit Beschaffung weniger reiner Luft von 1 oder auch 2 Promille begnügen.

Bei dem Dampfmassstab fehlt aber eine bestimmte Grundlage, an ihre Stelle tritt Willkür und Verwirrung, da auf die Luftfeuchtigkeit in den Wohnungen ausser den schon bezeichneten schwankenden Verhältnissen noch viele andere Zustände und Vorgänge, von welchen nachher die Rede sein wird, Einfluss haben.

Ferner, wenn man mit dem Kohlensäuremassstab wie üblich unter der Voraussetzung gerechnet hat, dass sich die schlechte Luft mit der frischen beständig und vollständig mische, und wenn dann aber die schlechte Luft so rasch weggeführt wird, dass die frische Luft reiner als vorausgesetzt zur Einathmung gelangt, so ist das in gesundheitlicher Beziehung nur günstig; der Umfang der Anlage ist dann reichlicher als nöthig, aber man kann durch Klappenstellung die Leistung vermindern. Der einzige Vorwurf hierbei könnte der sein, dass man an den Kosten der Einrichtung durch Verkleinerung ihres Umfangs hätte sparen können.

Geschah dagegen die Berechnung nach dem Dampfmassstab, und zwar, wie es wohl geschehen müsste, unter der Voraussetzung, die Zuluft werde, nachdem sie die Ausdünstungen aufgenommen hat, regelmässig und rasch abgeführt, und kommt aber dieses schlechte Luftgemenge dann doch theilweise wieder zur Einathmung, so befriedigt die Einrichtung nicht, und ihr zu geringer Umfang ist gewöhnlich auch mit grossen Kosten nicht leicht zu vergrössern.

Damit wird die Zweckmässigkeit des Kohlensäuremassstabs und sein

ganz entschiedener Vorzug vor dem Dampfmassstab für die Berechnung des Ventilationsquantums ausser Zweifel gestellt sein.

Um die Leistung der Lüftungseinrichtung zu controliren und überhaupt die Luftreinheit oder den Grad der durch die Anwesenheit von Menschen verursachten Luftverschlechterung zu erkennen, ermittelt man den Kohlensäuregehalt der Untersuchungsluft. Die hierzu brauchbaren, bis jetzt bekannten Apparate sind allerdings nicht so einfach und leicht zu benützen wie manche Hygrometer, und — wie Haesecke (Seite 70) mit Recht sagt — zu einer dauernden Controle sind sie nicht geeignet. Uebrigens ist das daselbst erwähnte Verfahren mit meinem 1882 construirten Taschenapparat nicht nur sehr einfach, sondern auch bei richtigem Gebrauche für die bezweckten Untersuchungen zuverlässig genug. Auch wird es nicht immer an einer einfachen jederzeit thätigen Controle fehlen. Sie ist bereits durch meinen kürzlich erfundenen „continuirlich selbstthätigen Luftprüfer nach dem Kohlensäuremassstab“, den ich im nächsten Theil beschreiben werde, ermöglicht; und wenn noch Manches daran unvollkommen ist, so wird die Zukunft Besseres bringen.

Zur Rechtfertigung des Dampfmassstabs für gleiche Zwecke, also der Anwendung von Hygrometern für die Luftprüfung könnte man etwa Folgendes sagen:

Im Allgemeinen ist zwar der Feuchtigkeitsgrad kein Massstab für die Luftreinheit; denn im Freien wie in geschlossenen Räumen finden wir die Luft von gleicher Reinheit bald sehr trocken, bald sehr feucht, bald in richtigem Grade befeuchtet. Wenn jedoch die Annahme zulässig ist, dass die übelriechenden Producte der Haut- und Lungen-Ausdünstung der gleichzeitig ausgeschiedenen Wassermenge proportional sind, so kann diese Wassermenge wie die Kohlensäure als Mass für den Grad der Luftverschlechterung durch Respiration und Perspiration dienen, und hiernach liegt die theoretische Folgerung nahe, dass zwei Hygrometer, von welchen das eine den Wassergehalt der reinen Aussenluft oder Zuluft, das andere den Wassergehalt der Zimmerluft oder Abluft angibt, zusammen einen Luftprüfungs-Apparat bilden. In der praktischen Anwendung ist aber nicht einmal auf diese Weise ein annähernd richtiges Resultat zu erwarten. Auf den Hygrometerstand in einem Zimmer haben da ausser der Respiration und Perspiration der Bewohner und dem Verbrennungsprocess der Beleuchtungsmaterialien noch vielerlei Zustände und Vorgänge Einfluss, die wohl zum Theil vermieden werden können und sollten, immerhin aber vorkommen: so die verschiedenen Verrichtungen in der Hauswirthschaft, wodurch Dämpfe und Dünste entstehen, die hohe oder tiefe

Lage eines Hauses und der Räume in diesem, die Lage eines Raumes nach Norden oder Süden, die von der Neuheit des Baues herrührende oder durch aufsteigendes Grundwasser oder durch anschlagenden Regen entstehende Mauerfeuchtigkeit, die hygroskopische Beschaffenheit der Wände, Decken, Fussböden und Möbel, vermöge welcher von diesen Gegenständen heute viel Wasser aufgesaugt, morgen wieder an die Zimmerluft abgegeben wird, die kalten Fenster, an welchen sich in der einen Stunde viel Wasser niederschlägt, in der andern wieder verdunstet, die Diffusion des Wasserdampfs durch die Fugen der Fenster und Thüren und durch alle zufälligen Oeffnungen, die wechselnde Einwirkung trockener und feuchter Winde. Dazu kommt noch die Wirkung verschiedener Mittel absichtlicher Befeuchtung oder Trocknung der Zimmerluft.

Wo bleibt da die Möglichkeit, aus Hygrometerbeobachtungen die Luftreinheit oder den Grad der Luftverschlechterung durch die Anwesenheit von Menschen in einem Zimmer oder die Grösse des Luftwechsels zu erkennen!

Wir bleiben also vorläufig noch auf die Methoden und Apparate zur Ermittlung des Kohlensäuregehalts der Luft angewiesen, und es handelt sich nur darum, den Zweck mit möglichst einfachen Mitteln zu erreichen, Apparate zu haben und zu benützen, welche bei genügender Zuverlässigkeit von Jedem leicht und mit geringen Kosten angewandt werden können.

Continuirlichkeit der Anzeigen begründet für viele Anwendungsweisen einen Vorzug, ist aber nicht unerlässliche Bedingung, da gleichartige Umstände und Zustände andauern und wiederkehren.

Daneben behalten auch die exacteren Methoden, deren Anwendung besondere Kenntnisse und Fertigkeiten voraussetzt, ihren Werth in der Ventilationstechnik für die Anwendung in einzelnen wichtigeren Fällen, sowie zur zeitweisen Controle der Richtigkeit anderer Luftprüfer, wie der im zweiten Theil dieser Abhandlung zu beschreibenden kleinen Apparate, welche zwar auf wissenschaftliche Genauigkeit nicht Anspruch machen, aber doch Existenzberechtigung haben, da sie schnell und leicht erkennen lassen, ob die Zimmerluft zu schlecht, noch zulässig rein oder sehr rein ist.

Als rein gilt im Allgemeinen die Luft, wie sie aus dem Freien in unsere umschlossenen Räume kommt. Rein im strengen Sinne des Worts ist die Luft, welche unsere Wohnungen umgibt, keineswegs (S. 276 ds. Bs.). Sie enthält selbst in grossen Entfernungen von diesen und bei scheinbarer Reinheit Staub und darin mikroskopische Organismen.

Die Staubmenge kann man bestimmen, indem man ein gemessenes Volumen der zu untersuchenden Luft durch eine mit destillirtem Wasser

gefüllte U-förmige Röhre leitet, das Wasser abdampft und den Rückstand wägt.

Zur Untersuchung der Luft auf Organismen hat Dr. Walter Hesse*), Bezirksarzt zu Schwarzenberg i. S., einen Apparat construirt, bestehend im wesentlichen aus einer 50 Centimeter langen und 3 Centimeter weiten Glasröhre, deren Boden bei horizontaler Lage mit Nährgelatine bedeckt ist, und einem Aspirator, mittels dessen die Untersuchungsluft langsam durch die Röhre gesaugt wird. Die auf dem Nährgelatineboden sich festsetzenden Keime lässt man bei geeigneter Temperatur sich entwickeln. Der Hesse'sche Apparat ist compl. für M. 37.75 zu beziehen von Dr. Rob. Muencke in Berlin W.

Tissandier**) fand in Paris im Mittel 0,0075 Gramm Staub in einem Kubikmeter Luft, nach achttägiger Trockenheit 0,0230, nach starkem Regen 0,0060 Gramm. Der Staub enthielt 27 bis 34 % verbrennliche und 66 bis 73 % mineralische Substanzen.

Fodor**) fand im Mittel 0,4 Milligramm Staub im Kubikmeter Luft, und zwar im Winter und Frühling weniger als im Sommer und Herbst. Unter 646 Beobachtungstagen traf er an 522 Tagen im Züchtapparate Bakterien an.

Dr. Miquel, Director der mikrographischen Arbeiten am Observatorium von Montsouris zu Paris, fand im Liter Luft zu Montsouris bei trockenem Wetter 28 Sporen, nach starkem Regenfall 95 bis 120. Demnach finden die Mikroorganismen in feuchter Luft günstigere Bedingungen ihrer Existenz und Vermehrung, obgleich dabei die Menge des Luftstaubs geringer ist.

Freudenreich***) machte in den Sommern 1883 und 1884 eine Reihe interessanter Beobachtungen über das Vorkommen von Organismen in der Luft hoher Gegenden und fand da häufig keine, mitunter einzelne Bakterien und Schimmelpilze, dagegen in einem Kubikmeter der Luft von Bern unzählige Mikroorganismen.

Dr. Breslauer†) fand in Brandenburg a. H. bei Untersuchung der Luft in verschiedenen Strassen in 10 Liter Luft 3 bis 43 entwicklungsfähige Mikroorganismen, über zwei durch Abfallwässer verunreinigten

*) Mittheilungen aus dem Kaiserl. Gesundheitsamte Bd. II, 1884, S. 182. Ferner: Dr. Breslauer, Vorsteher des Städtisch-chemischen Untersuchungsamtes zu Brandenburg a. H. Chemische Untersuchnng der Luft für hygienische Zwecke. Berlin 1885. S. 38 (Sonderabdruck aus der Deutschen Medicinal-Zeitung Heft 57).

**) Breslauer l. c. S. 39.

***) Journal d'Hygiène, 1885, Nr. 474.

†) Breslauer l. c. S. 40.

Gräben 59 bis 112, etwa eine Stunde entfernt von der Stadt nur 4 bis 11. Daraus geht hervor, wie sehr lokale Verunreinigungen zur Vermehrung der Mikroorganismen in der Luft beitragen. In schlechter Luft sind deren mehr vorhanden als in guter; dennoch werden Untersuchungen der Luft auf Mikroorganismen — abgesehen von der zeitraubenden und nicht Jedem leicht möglichen Durchführung — nicht als Prüfungen der Zimmerluft auf den Grad ihrer Reinheit oder Verschlechterung dienen können, wie die Untersuchungen auf Kohlensäure.

Nach Erismann*) hat es den Anschein, als ob unter gewöhnlichen Verhältnissen weitaus die grösste Zahl der im Luftstaube befindlichen Mikroorganismen keine Krankheitserreger seien.

Zweifellos ist es aber nach Landois**), dass wir mit der eingeathmeten Luft vielfach auch die Keime von ansteckenden Krankheiten mit in unsere Athmungsorgane aufnehmen, von welchen aus sie sich in den Körper hinein begeben, wo sie sich bei günstigen Existenzbedingungen localisiren, so z. B. der Diphtheritispilz, die Keuchhustenpilze, der Tuberkulosenpilz.

Es wäre demnach das Ideal einer Ventilationseinrichtung in dieser Hinsicht, die frische Luft gereinigt von Staub und Mikroorganismen den bewohnten Räumen zuzuführen und die gebrauchte Luft aus Räumen, wo sich mit ansteckenden Krankheiten behaftete Personen befinden, nochmals gereinigt abzuführen.

Wie soll das bewerkstelligt werden? mit Luftfiltern? Gute Luftfilter halten den groben Staub zurück, der sich jedoch auch in Luftkammern und weiten Kanälen bei sehr geringer Luftgeschwindigkeit zu Boden setzt, wohl auch feineren Staub, sicherlich aber nicht alle Mikroorganismen. Ueberdies gelangen solche äusserst kleine lebende Gebilde, von denen nach Erismann 250 Millionen feuchter und 800 Millionen trockener Bakterien nur das Gewicht eines Milligramms haben, auch auf vielen anderen zufälligen Luftwegen in die bewohnten Räume und aus diesen in die Atmosphäre. Luftfilter werden also wohl zur Luftreinigung beitragen, sie aber nicht vollständig erreichen lassen. Zweckmässig sind aber Filter in jedem Falle bei Luftleitungen zu Heizflächen, die eine höhere Temperatur als etwa 120° C. haben, weil an heisseren Heizflächen der organische Staub eine trockene Destillation oder Verbrennung

---

*) Dr. Friedr. Erismann, Professor der Hygiene an der Universität Moskau. Gesundheitslehre. 3. Aufl. München 1885. S. 18.

**) Dr. L. Landois, Professor der Physiologie an der Universität Greifswald. Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Wien u. Leipzig 1887. S. 252.

erleidet, deren Producte theils der Gesundheit nachtheilig sind, theils belästigend riechen, wie namentlich Kohlenoxyd und brenzliche Oele.

Damit die Luftfilter den Durchgang der nöthigen Luftmenge bei sehr engen Durchgangsöffnungen gestatten, müssen sie sehr grosse Flächen haben und häufig gereinigt werden, desshalb auch leichte Reinigung gestatten. Diesen Anforderungen entsprechen zur Zeit am besten die seit vier Jahren mit gutem Erfolg angewandten Möller'schen Luftfilter, welche von 5 bis 100 Quadratmeter Filterfläche zu 120 bis 860 Mark geliefert werden*). Sie bestehen aus rauhem Gewebe von feinster Baumwolle mit zickzackförmiger Anordnung des Filtertuchs in vielen nach oben geöffneten Taschen.

Solche Filter, nach kürzeren oder längeren Zeiträumen untersucht, können auch als Hülfsmittel zur Erkennung gewisser Verunreinigungen in der zugeführten und abgeführten Luft dienen und dadurch vielleicht mit der Zeit einigen Aufschluss über die Natur der die Respiration und Perspiration begleitenden Ausscheidungsstoffe gewähren, auf welche sich, streng genommen, die Luftprüfungen in bewohnten Räumen beziehen müssten.

Auch die mehrfach beliebten Räuchermittel verunreinigen die Zimmerluft (S. 277 ds. Bs.), so die älteren: Wachholderbeeren, auf glühende Holzkohlen gestreut, Räucherkerzen, Räucherpulver, Räucheröl, Räucheressig; die neueren: Blumengeist, Coniferengeist, Fichtennadelduft; die neuesten: Balsamische Räucheressenz, „erfrischender Duftessig", Vanille-Räucher-Essenz, Eau de Lavande u. s. w., von welchen mehrere Tropfen auf einen warmen Ofen gebracht angeblich die Luft reinigen. Es mag sein, dass manche der so in der Zimmerluft verbreiteten Substanzen nicht schädlich sind, ja dass sie die schlechte Luft nicht nur erträglicher machen, sondern auch das Athmen erleichtern, dass sie sogar nervenstärkend wirken. Sicherlich aber können solche Mittel die reine Luft nicht schaffen, wie wir sie wünschen und zur Erhaltung der Gesundheit brauchen. Im Gegentheil, da sie die schlechten Gerüche, welche an den Luftwechsel mahnen würden, verbergen, stehen sie der Luftreinigung im Wege, wirken also wenigstens in dieser Weise schädlich.

---

*) K. und Th. Möller, Brackwede in Westfalen, in einer Anlage zum „Gesundheits-Ingenieur" 1887 No. 1.

Zweiter Theil.

Methoden und Apparate zur Luftprüfung nach dem Kohlensäure-Massstab.

Ein empfindlicher Luftprüfer ist die Nase, wenn sie nicht katarrhalisch angegriffen ist, aber auch im normalen Zustande nur dann, wenn wir aus guter Luft in schlechte kommen, so dass ein unmittelbarer Vergleich ermöglicht wird. Auch von Pettenkofer kam auf den Grenzwerth 1 Promille als grössten zulässigen Kohlensäuregehalt durch Kohlensäuremessungen nach Feststellung des Eindrucks, welchen in verschiedenen Localen die Luft auf das Geruchsorgan machte. Er fand, dass überall, wo die Luft von ihm und von andern an Reinlichkeit und gute Luft gewöhnten Personen als genügend gut befunden wurde, der Kohlensäuregehalt geringer war als 1 Promille. Die Nase war also hierbei das massgebende Instrument. Wird aber die Luft durch eigne und fremde Benützung bei längerem Verweilen in einem Zimmer allmählich verdorben, so merkt man gewöhnlich davon nichts durch die Nase; ihre Empfindlichkeit wird dabei abgestumpft. Dennoch ist das Verweilen in solcher Luft schädlich. Welche Luft athmen Viele in ihren Schlafzimmern! Die Ermittlung des Kohlensäuregehalts der Zimmerluft oder überhaupt die Luftprüfung nach dem Kohlensäuremassstab ist daher sehr oft nützlich, zuweilen nothwendig.

Sehr genaue Luftprüfungen lassen sich mit der Pettenkofer'schen Methode der Kohlensäurebestimmung ausführen, welche auf der Absorption der Kohlensäure durch Barytwasser und der Titrirung mittels Oxalsäure beruht, wobei Rosolsäure als Indicator dient. Diese Methode ist bereits in § 103 ds. Bs. beschrieben. Dazu mag hier noch bemerkt werden, dass man sich jetzt anstatt der Rosolsäure mitunter einer alkoholigen Phenolphtaleïnlösung bedient, und dass man es nicht als überflüssig ansehen soll, vor oder nach der Titrirung der über dem kohlensauren Barium abgehobenen Flüssigkeit eine gleiche Menge der Barytlösung besonders zu titriren und aus der Differenz der für beide Titrirungen gebrauchten Oxalsäurelösung die absorbirte Kohlensäure zu berechnen, weil das angewandte Barytwasser vielleicht nicht genau die angegebene Concentration hatte oder schon vorher durch Kohlensäure-Aufnahme verändert war.

Der Umstand, dass man den etwas grossen Pettenkofer'schen Apparat nicht bequem mit sich führen kann, gab Veranlassung zur Zusammenstellung eines kleineren von Dr. Walter Hesse. Dem Hesse'schen

Verfahren liegt die Pettenkofer'sche Methode zu Grunde; es beruht wie diese auf der Absorption der Kohlensäure durch Barytwasser und der Titrirung mittels Oxalsäure unter Benützung von Rosolsäure oder Phenolphtaleïn. Zur Aufnahme der Luftproben dienen konische Flaschen (Erlenmayer'sche Kochflaschen) von $^1/_2$, $^1/_4$, $^1/_8$, $^1/_{12}$ Liter Inhalt. Sie werden durch Füllung mit Wasser und Entleerung im Untersuchungsraum mit Luft gefüllt. Die Titerflüssigkeiten werden in geringeren Mengen und in schwächerer Concentration angewendet, die Oxalsäure so, dass 1 Kubikcentimeter davon $^1/_{10}$ Kubikcentimeter Kohlensäure entspricht. Zur Controle verwendet Hesse bei jeder Untersuchung zwei verschiedene Volume, und zwar, je nachdem wenig oder viel Kohlensäure in der Luft zu vermuthen ist, die $^1/_2$ und $^1/_4$ oder $^1/_4$ und $^1/_8$ oder die $^1/_4$ und $^1/_{12}$ Literflaschen und vollzieht nach der Kohlensäure-Absorption in diesen Flaschen unmittelbar die Titrirung. Im Uebrigen ist das Hesse'sche Verfahren dem Pettenkofer'schen ganz ähnlich. Der Hesse'sche transportable Apparat wird von dem techn. Institut von Dr. Robert Muencke in Berlin in einem soliden kleinen Koffer geliefert, welcher zum Tragen in der Hand, auf dem Rücken und zum Umhängen eingerichtet ist, vollständig ausgestattet etwa 9 Pfund wiegt und nebst den für viele Untersuchungen ausreichenden Reagentien ungefähr 40 Mark kostet.

Eine sehr kleine Vorrichtung, bei welcher ebenfalls Barytwasser als Absorptionsflüssigkeit, aber ohne Titrirung in Anwendung kommt, ist Dr. Lunge's minimetrischer Apparat, welcher S. 286 ds. Bs. beschrieben und hier in Figur 1 dargestellt ist.

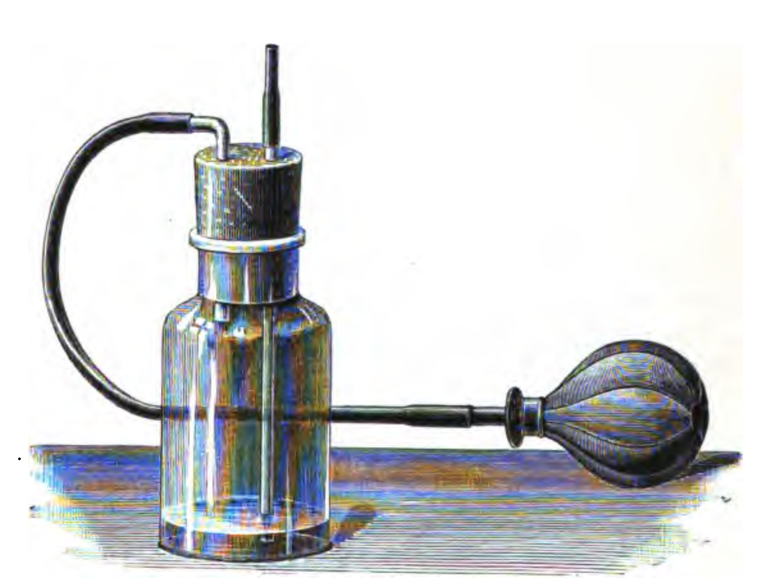
Man ist geneigt zu glauben, ein Apparat für Luftprüfungen könne kaum einfacher und handlicher gewünscht werden. Ich selbst war dieser Meinung, suchte ihn daher häufig anzuwenden, fand aber dabei Mängel und Unbequemlichkeiten, auch keinen befriedigenden Grad von Zuverlässigkeit. Die von Lunge dazu empfohlenen in den Niederlagen chirurgischer Instrumente käuflichen Gummibirnen mit der Bezeichnung 1, was eine Unze bedeuten soll, sind von sehr ungleicher Wanddicke und folglich bei äusserer Gleichheit von sehr ungleichem Rauminhalt. Ich habe für anderen Verwendungszweck mehr als 900 solcher Birnen gemessen und gefunden, dass die meisten das von Lunge angegebene Mass bedeutend übersteigen. Nach Lunge kann man durch Zusammenpressen mit der Hand jedesmal 22 bis 24 Kubikcentimeter Luft austreiben; ich habe so mitunter 32 ausgetrieben.

Für die Flasche ist der Rauminhalt 50 Kubikcentimeter vorgeschrieben, nicht aber die Weite. Diese müsste genau bestimmt sein, beziehungsweise in einem bestimmten Verhältniss zum Birnvolumen stehen,

weil bei gleichem Füllquantum und gleicher Niederschlagsgrösse die Wahrnehmung des Eintritts der massgeblichen Trübung von der Gefässweite abhängt. Auch ist man um so unsichrer im Masse des einzugiessenden Barytwassers, je weiter das Gefäss ist.

Nach jeder Luftfüllung soll man tüchtig umschütteln, aber wie lange? wie stark? Die dabei vorkommende Ungleichmässigkeit ist eine Fehlerquelle, und das viele Schütteln bei einer länger dauernden Untersuchung ist recht unbequem. Ferner ist es schwierig, die massgebliche

Fig. 1.



Trübung mit Sicherheit zu erkennen. Mir selbst blieb nach langer Uebung noch das Gefühl der Unsicherheit, und Gleiches wurde mir von anderen Seiten, auch von einem Physiker geklagt.

Nicht unerwähnt darf bleiben, dass Barytwasser giftig ist, ein bedenklicher Umstand bei einem Gegenstande für den Hausgebrauch.

Als einen dafür besser geeigneten Luftprüfer durfte ich wohl den Taschenapparat*) bezeichnen, welchen ich 1882 construirte, als ich

---

*) Dieser Taschenapparat zur Ermittlung des Kohlensäuregehalts der Zimmerluft wird in zwei Sorten, zu 5 und 12 Mk. angefertigt und verkauft von

Veranlassung hatte, Ventilationseinrichtungen in Schulsälen auf ihre Leistungen zu prüfen und die Nothwendigkeit von Lüftungseinrichtungen in andern nachzuweisen, wobei mir der Lunge'sche minimetrische Apparat nicht genügte und die häufige Anwendung des Pettenkofer'schen zu umständlich war. Es ist ein billiger und von Jedem leicht anwendbarer Apparat, den Sanitätsrath Dr. Paul Niemeyer in Berlin als Schnell-Luftprüfer bezeichnete. Fig. 2.

Seine wesentlichen Theile sind ein 12 Centimeter langer Glascylinder, einem Proberöhrchen ähnlich, mit einem weissen Emailhütchen am Boden,

Fig. 2.



auf welchen eine Zahl als Visirzeichen geschrieben ist, und ein Gummiballon mit daran befestigtem Glasröhrchen, das an seiner Mündung etwas erweitert und wulstförmig verdickt ist.

Die Weite des Cylinders muss zu dem Fassungsraum des Ballons in einem bestimmten Verhältniss stehen, beispielsweise soll der Cylinder 12 Millimeter weit sein, wenn der Gummiballon bei einer Pressung 28 Kubikcentimeter ergibt.

Mein Verfahren beruht auf der Absorption der Kohlensäure durch gesättigtes Kalkwasser, doch will ich nicht, wie es bei anderen Methoden Absicht ist, die Kohlensäure der Untersuchungsluft vollständig absorbiren lassen, sondern nur einen Theil derselben, will auch das Kalkwasser nicht durch Kohlensäure neutralisiren, sondern das Einpressen der Untersuchungsluft und damit die Bildung von kohlensaurem Calcium nur bis zu einer bestimmten Trübung fortsetzen.

---

der Thüringischen Glasinstrumenten-Fabrik von Alt, Eberhardt u. Jäger in Ilmenau.

Es liegt nahe zu denken, dieser Zweck werde besser erreicht, wenn die Glasröhre des Ballons in eine feine Spitze ausgezogen wäre. Ich benützte zuerst auch solche Röhren, fand aber keinen Vortheil darin, im Gegentheil einige Mängel. Die Absorptionsgrösse unter gleichen Umständen wird bei den verschiedenen wie auch den einzelnen Apparaten dadurch ungleich, dass nicht nur die neuen Spitzenmündungen ungleich sind, sondern durch Ansatz von kohlensaurem Calcium die enge Oeffnung bald noch mehr verengt und verstopft wird. Das Reinigen ist umständlich, verursacht leicht einen Bruch der Spitze; auch das Platzen des Gummiballons kommt infolge der nothwendigen stärkeren Pressung häufiger vor. Ich hielt es daher für besser, die Luft in das Kalkwasser fein vertheilt durch die enge ringförmige Oeffnung zwischen dem Cylinderboden und dem darauf gesetzten Röhrchenwulst einzutreiben, was aber nicht zu schnell geschehen darf.

Um mit diesem kleinen Apparat die Luft zu prüfen, füllt man den Glascylinder bis an einen daran ersichtlichen Strich mit wasserhellem gesättigtem Kalkwasser, wozu nur 3 Kubikcentimeter erforderlich sind, stellt das Glasröhrchen des Ballons auf den Cylinderboden, drückt die Luft aus dem Ballon langsam durch das Kalkwasser und wiederholt dieses Einpressen von Luft so oft, bis das Kalkwasser infolge reichlicher Bildung von kohlensaurem Calcium so trüb ist, dass man das Visirzeichen am Cylinderboden nicht mehr erkennt. Dabei zählt man die Ballonfüllungen. Aus einer dem Apparate beigegebenen Tabelle ersieht man den Kohlensäuregehalt, welcher der gebrauchten Anzahl von Ballonfüllungen entspricht. Man kann jedoch den Kohlensäuregehalt nach Promille auch leicht berechnen, indem man mit der Zahl der Ballonfüllungen in 20 dividirt. Wenn nämlich zur Trübung eine Ballonfüllung schon gerade ausreicht, enthält die Untersuchungsluft 20 Promille Kohlensäure; folglich beispielsweise

bei	2	Ballonfüllungen	20 : 2 = 10	Promille	Kohlensäure,
„	4	„	20 : 4 = 5	„	„
„	5	„	20 : 5 = 4	„	„
„	10	„	20 : 10 = 2	„	„
„	20	„	20 : 20 = 1	„	„
„	40	„	20 : 40 = 0,5	„	„
„	50	„	20 : 50 = 0,4	„	„

Leider kommt es vor, dass die Cylinder am Emailhütchen zerspringen, ohne Zweifel wegen der ungleichen Ausdehnung und Zusammenziehung der Glas- und Emailmasse bei Temperaturveränderungen, namentlich wenn infolge zu rascher Kühlung bei der Fabrikation schon eine

gewisse Spannung vorhanden ist. Man kann jedoch ein gewöhnliches Proberöhrchen von richtiger Weite verwenden, welches man beim Visiren auf bedrucktes weisses Papier aufsetzt.

Ich hatte mir einige Abänderungen dieses Apparates ausgedacht und schon probeweise in Ausführung gebracht, zu dem Zwecke, die Anwendung der zerbrechlichen Glastheile zu vermeiden und eine gleichmässige Ausführung der einzelnen Bestandtheile sowie gleichmässige Benützungsweise zu sichern. Einen solchen verbesserten Apparat zeigte ich bei einem Vortrage in der sechsten General-Versammlung des Vereins für Gesundheitstechnik am 25. September 1885 in München vor.*)

Fig. 3.



Von der fabrikmässigen Ausführung dieser Verbesserungen stand ich ab, weil der Apparat viel theurer geworden wäre und ich überdies — veranlasst durch den auf jener Versammlung laut gewordenen Wunsch, dass man Apparate haben sollte, welche wie ein Thermometer die Temperatur, so jederzeit den Grad der Luftreinheit anzeigen würden — sofort nach der Versammlung versuchte, diese Idee zu verwirklichen, was mir auch, wenigstens im Princip**), wider Erwarten schnell, schon am folgenden Tage geglückt war, worauf dagegen die endgültige Feststellung der fabrikmässigen Anfertigungsweise noch viel Zeit in Anspruch nahm.

Dieser continuirlich selbstthätige Luftprüfer (Fig. 3), wie ich ihn bei einem Vortrag in der siebenten Hauptversammlung des Vereins für Gesundheitstechnik am 15. September 1886 in Hannover vorzeigte, hängt wie ein Thermometer oder Hygrometer an der Wand und lässt auf einen Blick die Anhäufung oder Verminderung der Kohlensäure, damit also die Ver-

*) Bericht über diese Versammlung, erschienen bei R. Oldenbourg, München 1886. S. 20.

**) Wolpert. Ueber continuirlich selbstthätige Luftprüfer. „Gesundheits-Ingenieur" 1886 S. 718.

schlechterung oder Verbesserung der Zimmerluft erkennen, und zwar nach einem neuen Princip, nämlich aus der Weglänge bis zur Farbänderung einer alkalischen Flüssigkeit, welche durch einen Alkali-Indicator gefärbt ist und aus einem Gefäss an einem fadenförmigen Körper herabfliesst.

Das Wesentliche der Einrichtung ist Folgendes: In ein niederes, weites, oben offenes oder doch nicht dicht geschlossenes Glasgefäss, welches auf einer Wandconsole ruht, wird schwache Sodalösung gefüllt, die mit Phenolphtaleïn roth gefärbt und zum Schutze gegen Einwirkung der Luft mit etwas Mineralöl bedeckt ist. In der Flüssigkeit liegt ein Schwimmer und an diesem ist ein heberförmiges Capillarröhrchen in solcher Höhe befestigt, dass bei gewöhnlicher Zimmertemperatur in ungefähr 100 Secunden 1 Tropfen ausfliesst. Die Tropfen fallen in einen kleinen Glastrichter oder auf eine Leitfläche etwa von der Form eines nach der Länge durchschnittenen Trichters, wo sie an eine weisse Kordel von etwa 40 Centimeter Länge übergehen, die unten ein Auffanggefäss trägt oder durch eine angeknüpfte Glasperle gespannt über einem solchen endigt. Auf diese Weise wird bei möglichster Sparung der Flüssigkeit die Kordel immer nass erhalten. Bei höherer Temperatur kommen die Tropfen schneller, bei tieferer Temperatur langsamer, was wegen der in gleichem Sinne veränderlichen Verdunstung erwünscht ist.

In sehr reiner Luft ist die Kordel auf ihre ganze Länge durch die herabfliessende Flüssigkeit roth gefärbt, bei schlechterer Luft ist sie nur in gewisser Tiefe unter dem Trichter roth, von unten her aber weiss. Die Grenze zwischen Roth und Weiss rückt um so höher, je mehr Kohlensäure die Luft enthält.

Nach Massgabe vieler Kohlensäureermittlungen ist eine empirische Luftverschlechterungs-Skala beigefügt, welche von unten nach oben die Bezeichnungen aufweist: unter 0,7‰ rein, von 0,7 bis 1‰ noch zulässig, von 1 bis 2‰ schlecht, von 2 bis 4‰ sehr schlecht, über 4‰ äusserst schlecht.

Diese Skala entspricht den in Wohn- und Schlafzimmern, Schulen, Krankenhäusern, Kasernen, Fabriken u. s. w. vorkommenden Zuständen. Für die Anwendung in Ställen oder Bergwerken kann durch andere Concentration der Sodalösung und andere Kordeldicke die Skala geändert werden.

Die Bereitungsweise der Phenolphtaleïnlösung, den Verdünnungsgrad der Sodalösung und das Mischungsverhältniss beider findet man in der jedem Luftprüfer beiliegenden ausführlichen Gebrauchsanweisung angegeben.

Dieser Luftprüfer lässt sich ohne Schwierigkeit in solcher Grösse anfertigen und anwenden, dass er auf ziemlich lange Zeit, bis zu einem Monat und länger, und dann nach geringem Aufwand von Kosten, Zeit

und Mühe immer wieder eben so lang, selbstthätig und continuirlich die Luftbeschaffenheit anzeigt.

Da die Zuverlässigkeit von der exacten Anfertigung abhängt, ist es wünschenswerth, dass die Fabrikation in einer Hand bleibt und controlirt werden kann. Desshalb habe ich den Apparat zur Patentirung angemeldet (in Deutschland, England, Amerika) und die Fabrikationsberechtigung nur den „vereinigten physikal.-mechan. Werkstätten von Reiniger, Gebbert u. Schall“ in Erlangen (und New-York) übergeben.*)

Wohl der kleinste und einfachste Apparat zur Luftprüfung ist der von Dr. Schaffer.**) Das Verfahren beruht darauf, dass ein Tropfen Kalkwasser auf einem mit Phenolphtaleïn präparirten Papier einen violettrothen Flecken erzeugt, welcher an der Luft um so rascher verschwindet, je grösser der Kohlensäuregehalt ist. In einem Etui befindet sich präparirtes weisses englisches Löschpapier und ein Patent-Tropffläschchen mit verdünntem Kalkwasser von bestimmtem Gehalt. Aus dem Tropffläschchen lässt man nach entsprechender Drehung des Glasstöpsels aus einer Höhe von 6 bis 8 Centimeter einen Tropfen Kalkwasser auf das in einem kleinen Rahmen befindliche Löschpapier fallen, wodurch auf diesem ein violettrother Flecken entsteht, stellt das Rähmchen im Etuideckel so auf, dass das Papier der Luft ausgesetzt ist, und dreht das Ganze möglichst gegen das Licht. Nun hat man nur noch die Zeitdauer zu beobachten, in welcher die rothe Färbung des nassen Fleckens völlig verschwindet. Das geschieht bei normaler Luft in 20 bis 25 Minuten, bei 0,7 Promille Kohlensäuregehalt in 12 Minuten, bei 1 Promille in 8 Minuten, bei 5 Promille in 3 Minuten. Diese Zahlen gelten natürlich nur annähernd, was indessen für Ventilationszwecke gewöhnlich ausreicht.

Einen Misstand veranlasst mitunter der eingeschliffene Glasstöpsel. Noch Manchem wird es gehen, wie es mir ging, dass man, im Begriff eine Luftprüfung zu machen, nicht im Stande ist den Glasstöpsel zu drehen. Er kann, wenn die Flasche mehrere Wochen nicht benützt wurde, durch kohlensaures Calcium unlösbar fest eingekittet sein. Aber bei Anwendung einer gewöhnlichen Flasche mit Kork- oder Gummistöpsel würden die Tropfen nicht gleichmässig genug sein und das Kalkwasser würde mehr mit Luft in Berührung kommen, daher nicht lange in guter Beschaffenheit bleiben, während nach Schaffer bei Anwendung des Patent-

*) Der continuirliche Luftprüfer wird vorerst in zwei Sorten angefertigt, als Luftprüfer allein zu $12^1/_2$ Mk., in Verbindung mit Barometer, Thermometer und Hygrometer zu entsprechend höherem Preise.

**) Zu beziehen bei Dr. F. Schaffer, amtlichem Chemiker in Bern, wie auch durch die Schulbuchhandlung Antenen in Bern für 3 Fr.

Tropffläschchens, wenn es mit der nöthigen Vorsicht behandelt wird, das Kalkwasser wenigstens vier Monate ganz gut brauchbar bleibt.

Bei Anwendung meines vorher beschriebenen continuirlichen Luftprüfers konnte man leicht auf das Schaffer'sche Verfahren geführt werden. Das veranlasst mich zu erklären, dass der Schaffer'sche Apparat und mein continuirlicher Luftprüfer gleichzeitige Erfindungen sind und dass Herr Dr. Schaffer vor Erfindung seines Apparates von dem meinigen nichts erfahren haben kann, wie auch ich erst nach Vollendung meines Luftprüfers von dem Schaffer'schen Kenntniss erhielt.

Fig. 4.

Als siebenten Apparat will ich den von Rüdorff beschreiben, einen Absorptions- und Messapparat, bei welchem die Kohlensäure von Kalilauge absorbirt wird, deren gemessenes Volumen sofort das Kohlensäurevolumen angibt. Fig. 4.

Eine dreihalsige Woulf'sche Flasche, deren Inhalt etwa 1 Liter beträgt, aber ganz genau bestimmt sein muss, ist an den drei Oeffnungen mit hohlen Glasstöpseln oder durchbohrten Gummistöpseln geschlossen. Der mittlere Stöpsel trägt eine nach zehntel Kubikcentimeter getheilte Hahnbürette, welche zur Aufnahme von Kalilauge dient. Im zweiten Stöpsel ist eine mit Glashahn versehene gebogene Glasröhre befestigt, welche bis nahe an den Flaschenboden reicht. Mit dem dritten Stöpsel ist ein Wassermanometer verbunden.

Nachdem man die Flasche durch Einpumpen oder Aussaugen mit Untersuchungsluft gefüllt hat, beobachtet man bei geschlossenen Hähnen den Manometerstand und gleicht einen etwa vorhandenen Unterschied der Wasserhöhen in beiden Manometerschenkeln durch momentanes Oeffnen des Hahns an der anderseitigen Glasröhre aus. Dann füllt man die Bürette bis an den Nullpunkt, der oben angebracht ist, oder bis zu einer vermuthlich genügenden Höhe, welche man notirt, mit Kalilauge und lässt diese, indem man den Hahn der Bürette ein wenig öffnet, tropfen-

weise in die Flasche fliessen. Infolge dessen macht sich im Manometer zunächst ein innerer Ueberdruck bemerkbar, der sich jedoch bald wieder vermindert und in einen Unterdruck übergeht, welcher in dem Verhältniss zunimmt, wie die Absorption der Kohlensäure durch die Kalilauge fortschreitet. Man regelt nun den Zufluss der Kalilauge derart, dass das Manometer Gleichgewicht anzeigt. Sobald dieses sich als dauernd erweist, ist die Absorption beendet und die absorbirte Kohlensäure ist durch ein gleiches Volumen Kalilauge ersetzt, dessen Grösse man am Bürettenstand abliest. Hält z. B. die Flasche genau 1 Liter oder 1000 Kubikcentimeter, und hat man an der Bürette 4 Kubikcentimeter abgelesen, so ist der Kohlensäuregehalt der Untersuchungsluft 4 Promille.

Das Princip dieses Apparates ist unstreitig ein sehr einfaches und ausgezeichnet schönes. Um so mehr ist zu bedauern, dass der Einfluss von Temperaturveränderungen ausserordentlich störend auftritt. Man stellt zwar, um Temperaturveränderungen zu vermeiden, die Flasche in ein weiteres Gefäss, welches Wasser von Zimmertemperatur enthält; aber bei aller Vorsicht ist es nicht immer möglich, die Temperatur lange genug constant zu erhalten, und $^1/_4$ Grad Temperaturänderung veranlasst einen Fehler von beinahe 1 Promille in der Ermittlung des Kohlensäuregehaltes. Dazu kommt noch, dass die Kalilauge, je nach ihrer stärkeren oder geringeren Concentration und bei bestimmter Concentration je nach dem Grade der relativen Feuchtigkeit der Luft, aus dieser Wasser absorbirt oder solches durch Verdunstung an diese abgibt, wodurch der Dunstdruck, also auch die Luftspannung in der Flasche geändert wird. Diese Einflüsse zu vermeiden oder zu corrigiren ist so schwierig, dass der Rüdorff'sche Apparat wenigstens nicht als ein Luftprüfer für den allgemeinen Gebrauch gelten kann.

Als ein solcher wurde vor zwei Jahren ein Kohlensäure-Ermittlungs-Apparat von Dr. Blochmann empfohlen.*) Es gehören dazu folgende Gegenstände, welche in einem leicht tragbaren Holzkasten Platz finden: Eine Versuchsflasche von $^1/_2$ Liter, ein knieförmiges Saugrohr mit kugelförmiger Erweiterung, ein Messgläschen mit Marke für 5 Kubikcentimeter, eine Vorrathsflasche für $^1/_2$ Liter gesättigtes Kalkwasser, ein Glastrichter zum Filtriren des Kalkwassers nebst Filtern, eine kleine Flasche zur Aufnahme von klarem Kalkwasser für den nächsten Gebrauch, ein Fläschchen mit Phenolphtaleïnlösung, ein Tropfenzähler.

Man füllt die Versuchsflasche mittels des Saugrohrs mit Untersuchungsluft (Fig. 5), das Messgläschen bis an die Marke mit klarem

*) Zu beziehen von J. C. Schlösser in Königsberg i. Pr. für 12 Mk.

Kalkwasser, giesst dieses nach Hinzufügung von drei Tropfen Phenolphtaleïnlösung, die es deutlich roth färben, in die Versuchsflasche. Das Verschwinden der rothen Färbung muss mit dem Verschwinden der alkalischen Reaction, also nach der Bildung von kohlensaurem Calcium bei dem geringsten Ueberschuss von Kohlensäure erfolgen.

Man schliesst die Flasche mit einem Korkstöpsel, und schüttelt — wie in der Gebrauchsanweisung gesagt ist — 2 bis 3 Minuten lang kräftig, damit die Kohlensäure möglichst vollständig vom Kalkwasser absorbirt wird. Ist die Flüssigkeit noch roth, so füllt man die Versuchsflasche von neuem durch Absaugen ihres Luftinhalts mit Untersuchungsluft und schüttelt wieder 2 bis 3 Minuten lang tüchtig. Dieses Verfahren setzt man so lange fort, bis die rothe Färbung verschwunden ist. Aus einer beigegebenen Tabelle ist der Kohlensäuregehalt, welcher einer bestimmten Zahl von Luftfüllungen entspricht, ersichtlich. Danach erfolgt die Entfärbung bei 6 Promille Kohlensäuregehalt der Luft schon mit einer Füllung, bei $^1/_2$ Promille mit 12 Füllungen.

Fig. 5.



Bei der Anwendung dieser Blochmann'schen Methode machen sich Fehlerquellen bemerklich, die theilweise durch geringe Aenderung des Apparats und genauere Gebrauchsanweisung vermindert werden können. Man soll die Flasche durch Absaugen ihres Luftinhalts füllen. Wie lange soll man zu diesem Zweck saugen? Etwa so lange, als es der Fassungsraum der Lunge ermöglicht? Dann kann man den Flascheninhalt ohne Unterbrechung ungefähr fünfmal absaugen, und während diese Luftmenge durch die Flasche gelangt, absorbirt daraus die mit Kalkwasser benetzte Flaschenwandung Kohlensäure, so dass sich der Kohlensäuregehalt der Untersuchungsluft zu gross ergeben muss. Sollte man aber den Luftinhalt der Flasche nur einmal, also gerade $^1/_2$ Liter absaugen, so würde ein grosser Theil der Luft früherer Füllung in der Flasche bleiben; denn diese Luft ist specifisch leichter als die neu eingesaugte, erstens weil die Flasche durch die Handwärme beim Schütteln erwärmt wurde, zweitens

weil die geschüttelte Luft specifisch schwerere Kohlensäure verloren hat, drittens weil sie feuchter geworden und feuchte Luft specifisch leichter ist als trockne von derselben Temperatur und Spannkraft. Diese specifisch leichtere, kohlensäureärmere Luft nimmt den oberen Theil der Flasche ein und unten wird mehr neu eingedrungene kohlensäurereichere Luft abgesaugt. Dadurch ergibt sich der Kohlensäuregehalt zu klein, und in dieser Hinsicht wäre es besser, wie bei dem Lunge'schen Apparate die Luft oben abzusaugen und unten einfliessen zu lassen.

Die beiden Fehler gleichen sich theilweise aus, aber in einem veränderlichen und unbekannten Grade. Ferner ist es nicht gleichgültig, ob man 2 oder 3 Minuten lang schüttelt und wie stark man schüttelt.

Immerhin genügen die Resultate in vielen Fällen. Aber das Schütteln, was man bei ziemlich guter Luft ungefähr eine halbe Stunde lang fortsetzen muss, ist eine so ermüdende Manipulation, dass man den Apparat nicht gern und häufig anwenden wird.

Dieses gilt auch von einem in Dingler's Polytechn. Journal vom 28. October 1885 (Band 258 S. 182) beschriebenen complicirteren Apparat, welcher hier als neunter noch genannt werden mag, dem Apparat zur Bestimmung der Kohlensäure der Luft von E. Nienstädt in Berlin und M. Ballo in Budapest. Bei diesem findet eine Lösung von Kali oder Natron mit Chlorbarium und Phenolphtaleïn Anwendung.

Eine weitbauchige Flasche von 100 bis 500 Kubikcentimeter Inhalt wird für jede Untersuchung nur einmal mit Luft gefüllt und zwar dadurch, dass man sie voll Wasser giesst und dieses in dem Raume, dessen Luft untersucht werden soll, ausschüttet. Aus einer im Deckel der Flasche dicht eingesetzten Bürette, welche 10 bis 50 Kubikcentimeter fasst, wird die gefärbte Alkalilösung durch Drücken am Kugelventil eines Schlauchs, welcher den Bürettenraum mit dem Flaschenraum verbindet, in kleinen Mengen nach und nach in die Flasche übergeführt, worauf man jedesmal 2 bis 3 Minuten schüttelt. Dieses Verfahren wiederholt man, so lange die neu eingepresste Flüssigkeit farblos wird.

Entspricht 1 Kubikcentimeter der Massflüssigkeit einem Kubikcentimeter Kohlensäure in 10000 Kubikcentimeter Luft, so ist der gesuchte Kohlensäuregehalt

$$x = 111,6\, m\, a : v,$$

wobei m die Anzahl der Kubikcentimeter Zehntel-Oxalsäure bedeutet, welche zur Sättigung von 100 Kubikcentimeter der Absorptionsflüssigkeit nothwendig waren, ferner v das Volumen der Flasche und a die Anzahl der bei der Untersuchung gebrauchten Kubikcentimeter Absorptionsflüssigkeit.

Zweite Abhandlung.

Ueber rationelle Heizung und Lüftung mit Berücksichtigung neuerer Einrichtungen und Vorschläge.

Neue Einrichtungen für Lüftung und Heizung sind zahlreich in den technischen Zeitschriften und anderen Veröffentlichungen der letzten Jahre beschrieben, und manche davon werden als vollkommen befriedigend, sogar als unübertrefflich bezeichnet. Solches Lob gründet sich häufig auf den Vergleich mit älteren oder anderwärts vorhandenen mangelhafteren Anlagen und schlimmen Zuständen oder auf bescheidene Ansprüche überhaupt. Wenn man in dem geschlossenen Raume keinen schlechten Geruch wahrnimmt und weder friert noch durch Hitze belästigt wird, oder auch, wenn nachgewiesen ist, dass das verlangte Ventilationsquantum durch den Raum gelangt und die Lufttemperatur so geregelt werden kann, dass ein Thermometer in Kopfhöhe dauernd 18 bis 20° C. zeigt, so ist man gewöhnlich mit der Gesammteinrichtung zufrieden. Dann kommt es aber doch vor, dass empfindliche Personen sich nicht ganz behaglich fühlen, sei es dass die Luft für dauernden Aufenthalt nicht rein genug, oder zu trocken oder zu feucht, oder der Luftwechsel von Zug begleitet ist, oder die Temperaturunterschiede zu gross, die Fussböden und Mauern zu kalt sind.

Besseres noch zu erreichen, als wir bereits haben, und zwar soweit möglich mit einfachen, in der Anlage wie in der Benützung nicht zu kostspieligen Einrichtungen, das ist anzustreben, und es wird, wie die fortwährend auftretenden Neuerungen und Vorschläge zeigen, vielseitig angestrebt.

Nicht nur in einzelnen Räumen, in ganzen Wohnungen, ganzen Häusern sollen zu jeder Jahreszeit sommerliche Zustände herrschen, aber sommerliche Zustände der besten, angenehmsten Art. Auch in freier und lauer Sommerluft zu verweilen ist weder behaglich noch

gesund, wenn wir an einer von rauhen Tagen her noch kalten Mauer sitzen und unsere Füsse auf kaltem Boden stehen. Behaglich und gesund ist aber der Aufenthalt an derselben Stelle sogar bei etwas kühler Abendluft, wenn Mauern und Boden den Tag über von der Sonne gut erwärmt worden sind.

Es liegt demnach nahe, dass wir in unseren Wohnungen uns nicht auf Erwärmung der Luft allein beschränken, sondern starke Erwärmung der Luft zu vermeiden, dagegen gute Erwärmung der Mauern und Fussböden herbeizuführen suchen sollen.*) Den Kopf kühl zu halten, die Füsse aber warm, ist eine besonders zu beherzigende alte und bewährte Gesundheitsregel.

Daneben ist bei nicht zu warmer Luft auch eine milde Wärmestrahlung von Heizkörpern recht wohl zulässig, sie ist keineswegs nachtheilig und lästig, im Gegentheil den meisten Menschen angenehm wie milde Sonnenstrahlen bei erfrischend kühler Luft.

Die in verschiedenen Schriften aufgestellte Behauptung, dass die strahlende Wärme von der Anwendung bei der Zimmerheizung auszuschliessen sei, ist nicht genügend begründet, ebenso wenig aber auch das extreme Gegentheil, als dessen Vertreter der Engländer Lewis W. Leeds aufgetreten ist.**)

Leeds macht in einer Abhandlung über Heizung durch Strahlung auf das bei der Luft- und Warmwasserheizung nach seiner Meinung im höchsten Grade gesundheitswidrige Princip der Vorwärmung der Luft aufmerksam und führt aus, wie bei einer naturgemäss functionirenden Beheizung unserer Wohnräume die Erwärmung der uns umgebenden Gegenstände nur durch Strahlung bewirkt werden müsse, während die Athmungsluft durch Oeffnen der Thüren und Fenster kalt zu halten sei.

Eine solche Trennung der Ventilation von der Heizung ist ohne Zweifel ein Extrem, auf dessen Anwendung nicht allein bei strenger Winterkälte, sondern schon bei mittlerer Wintertemperatur verzichtet werden muss, wenn, wie es Leeds verlangt, die Heizung durch die Wärmestrahlung eines Kaminfeuers bewirkt werden soll; denn die Er-

*) In diesem Sinne äusserte sich auch Emile Trélat, Director der Architekturschule zu Paris, in einem auf dem letzten Haager Internationalen Congress gehaltenen Vortrag: „Régime de la température et de l'air dans la maison.“ Aus dem Sitzungsbericht abgedruckt im Journal d' Hygiène No. 544 vom 24. Februar 1887.

**) „Gesundheits-Ingenieur“ 1880, No. 2, S. 32. Nach The Journal of the Franklin Institute.

wärmung durch so intensive einseitige Strahlung bei offenen Thüren und Fenstern kann weder gesund sein, noch einen behaglichen Zustand hervorbringen. Die angenehm erfrischende Wirkung kühler Luft erstreckt sich nicht auf sehr tiefe Temperaturen, und die weiteren Gründe, welche für die Bevorzugung kalter Ventilationsluft angegeben werden, wie grösserer Sauerstoffgehalt, Erhaltung des Ozons, Vermeidung von Lufttrockenheit — sind nicht stichhaltig. (Vgl. S. 268; S. 275; S. 123, 270, 901 ff. ds. Bs.)

Grössere Schwankungen als für die Temperatur mögen für die relative Feuchtigkeit der Zimmerluft zugelassen werden, doch darf sie uns nicht gleichgültig sein, wie mitunter behauptet wird. In der nächstfolgenden Abhandlung wird nachgewiesen werden, dass die Zimmerluft nicht sehr trocken, noch weniger aber sehr feucht sein soll. Auch hierin kann uns ein schöner Sommertag mit seiner relativen Luftfeuchtigkeit an einem schattigen Orte im Freien als Norm dienen.

Ferner dürfen Diffusion und mechanische Mischung der Luftmassen nicht unberücksichtigt bleiben, aber auch nicht überschätzt werden. Sie wirken auf Ausgleichung der Luftbeschaffenheit, aber weder rasch noch vollkommen. Es ist eine der Wirklichkeit nicht entsprechende Annahme, jede Ventilation bewirke vermöge der Diffusion und mechanischen Mischung eine gleichmässige Verbesserung der Zimmerluft und der Grad der Luftreinheit sei geradezu von der eingeführten oder abgeführten Luftmenge abhängig. Wenn man nach sorgfältigen Luftmessungen den sich aus der Annahme vollständiger Luftmischung ergebenden Kohlensäuregehalt berechnet, steht dieser gewöhnlich nicht in guter Uebereinstimmung mit der directen Kohlensäurebestimmung, sondern man findet an verschiedenen Stellen des Raumes den wirklichen Kohlensäuregehalt oft bedeutend grösser oder kleiner, als er nach der Berechnung sein sollte. Es entweicht eben bei gewissen Lüftungseinrichtungen leicht eine grosse Menge der zugeführten reinen Luft wieder, ohne mit der schlechten Luft gehörig in Berührung gekommen zu sein, und andererseits sammelt sich schlechte Luft an.

Keine Verbesserung dieser Verhältnisse, sondern eine schlechtere Ventilationswirkung im Ganzen wird offenbar dadurch herbeigeführt, dass man die Zuluft schon verunreinigt in das Zimmer gelangen und die niedergehenden Schichten gebrauchter Luft nur theilweise nach den Abluftkanälen fliessen lässt. Das ist der Fall bei Anwendung des patentirten „Luftmischers“, bei welchem ein beträchtlicher Theil der Zimmerluft in den am Fussboden gegen das Zimmer hin offenen Warmluftkanal oder mantelartigen Schacht fliesst, sich darin mit der reinen warmen Luft

mischt und oben wieder in das Zimmer gelangt. Dasselbe gilt von einer neuerlich in einigen Schulen eingeführten Art von Ventilationsöfen, bei welchen immer gleichzeitig reine Aussenluft und gebrauchte Zimmerluft in den Mantel geführt werden soll. Namentlich für Schulen ist Luftreinheit von grösster Wichtigkeit, und daher ist es entschieden verwerflich, dass man da einen grossen Theil der verdorbenen Luft, welche möglichst rasch und vollständig beseitigt werden sollte, fort und fort wieder erwärmt und so nicht möglichst reine Luft, sondern ein Gemisch von reiner und verdorbener Luft dem Zuluftkanal oder Mantelraum entströmen lässt und den Lungen der Lehrer und Schüler darbietet.

Es ist klar, dass man bei solchen Einrichtungen zwar grössere Gleichmässigkeit der Zimmertemperatur erreicht, dass man aber sogar durch Zuführung sehr grosser Luftmengen die Zimmerluft nicht so rein erhalten kann wie mit einer kleinen Luftmenge bei rationeller Lüftung.

Die Bezeichnung rationell wird einer Lüftungsanlage um so mehr einzuräumen sein, je geringer die Luftmenge ist, welche zugeführt werden muss, um ohne Belästigung durch Zug oder unangenehme Temperatur einen regelmässigen und vollkommnen Luftaustausch und gleichmässig reine Luft fur die Athmung zu gewähren.

Deny's „rationeller Lüftung“ liegt die neue Annahme zu Grunde, dass in einem gelüfteten Raume sich während der Heizperiode die niedersinkenden Luftströmungen, welche die schlechte Luft enthalten, nur an den Mauern und den Fenstern bilden, deren Temperatur niedriger ist als die der Räumlichkeit.*) Daher verlangt Deny, die Abzugsöffnungen sollen sich unten befinden und sich längs der Fenster und Mauern erstrecken, welche einer dauernden Abkühlung dadurch unterliegen, dass sie der äusseren Temperatur ausgesetzt sind. Sammelbehälter für die verdorbene Luft in Verbindung mit Abzugskaminen sollen aus Holzpanelen oder hohlen Sockeln in ganzer Ausdehnung der abkühlenden Wände und in gewisser Entfernung von diesen hergestellt werden.

Die Annahme, dass die Luftströmungen, welche die schlechte Luft enthalten, nur an den abkühlenden Wänden und Fenstern niedergehen, ist keineswegs zutreffend, und was Deny (S. 17) in Abrede stellt, ist dennoch richtig. Die erwärmt eingeführte sammt der mit ihr gemengten verdorbenen Luft fliesst nur theilweise an den kalten Flächen unmittelbar herab, ein grosser Theil breitet sich unterhalb der Decke in Schichten von gleicher Temperatur aus, welche sich allmählich in dem Masse senken, als sie durch wärmere Schichten verdrängt und ersetzt werden.

---

*) Die rationelle Heizung und Lüftung. Preisgekrönte Schrift von Ed. Deny. Deutsche Ausgabe von E. Haesecke. Berlin 1886. S. 22.

Meine früheren Darlegungen*) muss ich auf Grund weiterer Experimente aufrecht halten, die ich in Schulsälen und Wohnzimmern anstellte. Mit angezündetem Salpeterpapier oder mit Wachholderbeeren auf einem Kohlenbecken erzeugte ich in der Heizkammer oder im Zuluftkanal des Mantelofens dichten Rauch, an welchem sich dann die Luftbewegung im Raume deutlich erkennen liess. So sah man das directe Herabfliessen an kalten Flächen und das allmähliche Sinken der nahezu horizontalen Schichten. Nach einiger Zeit — je nach Einrichtung und Umständen in 10 bis 30 Minuten — war die obere Hälfte des Raumes mit Rauch angefüllt, die Luft in der unteren Hälfte aber noch sehr durchsichtig; nach längerer Zeit war die Luft in der oberen Häfte rein, in der unteren Hälfte stark mit Rauch gemengt, dann nach weiterer entsprechender Zeit die Luft im ganzen Raum rauchlos.

Für Beobachtungen der Bewegungsweise der Luft in geschlossenen Räumen, und zwar hauptsächlich für die Erkennung schwacher Luftbewegungen, hat Professor Dr. H. Fleck in Dresden das „Ballon-Anemoskop“ angegeben.**) Nach Fleck lässt sich mit solchen Gummi-Ballons von ungefähr 2 Liter Capacität, die mit Wasserstoffgas gefüllt und nach Bedürfniss durch eine daran gehängte Wachskugel beschwert sind, unter anderem nachweisen, dass bei gewöhnlicher Stubenofenheizung zwar ein sehr rapider Auftrieb der Zimmerluft unweit der heissen Ofenfläche stattfinde, die Luftbewegung an der Zimmerdecke aber sehr bald durch ein ungefähr 1 bis 2 Meter vom Ofen bemerkbares Sinken der durch die Zimmerdecke abgekühlten Luft unterbrochen werde, so dass diese Luft sich bis auf die halbe Höhe des Zimmers herabsenke, sich ein Stück in horizontaler Richtung fortbewege, um dann wieder emporzusteigen und an einer kalten Wand- oder Fensterfläche von neuem zu sinken; dass ferner, wenn ein solches Zimmer bedeutende Tiefe hat und der Ofen sich in der grössten Entfernung vom Fenster befindet, sich das Auf- und Absteigen der erwärmten Luftschichten bis zu ihrer Ankunft an der Fensterfläche mehrere Male im Raume wiederhole; dass auch bei Warmluft-Zufuhr durch Ventilationskanäle die Bewegung der Ventilations-Gase keine in den oberen Zimmertheilen verharrende sei, sondern die Gase gewöhnlich einige Meter hinter ihrer Eintrittsöffnung

---

*) Wolpert, Principien der Ventilation und Luftheizung. Braunschweig 1860. S. 222, 280. — Wolpert, Anhang zu Staebe's Preisschrift über die zweckmässigsten Ventilations-Systeme. Berlin 1878. S. 120—142. — Wolpert, Theorie und Praxis der Ventilation und Heizung. 1880. S. 454, 504.

**) Zeitschrift für Biologie 1880. S. 203. — Gesundheits-Ingenieur 1880. S. 184.

mit grosser Geschwindigkeit fallen und in ihrer Fortbewegung sehr hoch steigende Wellen beschreiben.

Gegen diese Folgerungen aus den Ballonbewegungen ist einzuwenden, dass auf den Ballon die bewegenden Kräfte theilweise ganz anders wirken als auf die Luftmasse, welche an der Stelle des Ballons zu denken ist.*) Solche Abweichungen werden schon veranlasst durch die angegebene Ballongrösse, das Beharrungsvermögen und die Elasticität des Ballons, welcher gegen eine feste Fläche stossend sich keineswegs wie die Luft verhält. Der hauptsächlichste Mangel aber liegt darin, dass es höchst schwierig, wenn nicht unmöglich ist, einen Ballon so anzufertigen, dass sein specifisches Gewicht mit jenem der wärmsten wie der kältesten Luft eines Raumes von selbst in Uebereinstimmung gelangt. Man wird nicht annehmen dürfen, dass der Ballon infolge der Elastiticität der Hülle sich sofort oder auch nur allmählich jeder innerhalb der möglichen Grenzen auftretenden Temperaturschwankungen der Zimmerluft anpasst, folglich ein Luftschwimmer ist, welcher ohne Aenderung seiner Belastung sowohl mit der wärmsten und kältesten Zimmerluft wie mit jener von mittlerer Temperatur sich im Gleichgewicht befindet.

Aus der Vergleichung der hier zur Berücksichtigung kommenden specifischen Gewichte und Ausdehnungscoefficienten geht hervor, dass ein Ballon, welcher für eine bestimmte Temperatur justirt ist, in wärmerer Luft ein grösseres Volumen annimmt, aber nicht ein so grosses, dass sein specifisches Gewicht so gering wird wie das der warmen Luft; ferner, dass in kälterer Luft der Ballon kleiner wird, aber nicht gerade so klein, dass sein specifisches Gewicht auf das der kalten Luft sich vergrössert.

Die so entstehenden Differenzen der specifischen Gewichte sind im Allgemeinen nicht verschwindend klein; folglich wird sich beispielsweise, wenn auch weitere störende Einflüsse eines zu grossen Durchmessers und des Abprallens der elastischen Kugel als nicht vorhanden angenommen werden, folgende Erscheinung bieten:

Der für die mittlere Zimmertemperatur justirte Ballon sei in den ziemlich starken Luftstrom gebracht, welcher von einer Wandöffnung aus in einem Bogen gegen die Decke gerichtet ist. In diesem Luftstrom wird der wenn auch specifisch schwerere Ballon mit emporgerissen und gelangt in schräger Richtung in die oberste Luftschicht. Anstatt der in schräger Richtung an dem Ballon wirksamen Stosskraft kann man eine horizontale und eine vertikale Seitenkraft substituiren. Die hori-

---

*) Wolpert, Mängel des Ballon-Anemoskops. Der Gesundheits-Ingenieur 1880 S. 184.

zontale Seitenkraft bleibt vermöge der Inertie noch länger wirksam, verursacht eine Fortbewegung in der Richtung gegen die anderseitige Wand hin, wenn auch die den Ballon umgebende Luft sich nicht ebenso nach dieser Richtung bewegen würde, und wenn auch an dem Ballon neue Kräftewirkungen in vertikalem Sinne auftreten. Solche treten in der That auf. Der Ballon ist mit der warmen Luft an der Decke nicht im Gleichgewicht, er ist specifisch schwerer, er sinkt, und zwar sinkt er zuerst mit beschleunigter, dann mit verzögerter Geschwindigkeit; denn dieses Sinken erfolgt nicht nur bis in diejenige Luftschicht, mit welcher der Ballon im Gleichgewicht ist, sondern infolge der Inertie weiter herab, also in eine specifisch schwerere Luftschicht. Von dieser wird der Ballon gehoben, steigt zuerst mit beschleunigter, dann mit verzögerter Geschwindigkeit, und das Steigen geschieht wieder infolge der Inertie bis in eine Luftschicht, welche specifisch leichter ist als der Ballon, worin er also wieder sinken muss.

Auf diese Weise beschreibt der Ballon auffallend hoch und tief gehende Wellenlinien, und das unter der Annahme, dass die Luftschichten nach der Reihenfolge der specifischen Gewichte gelagert sind und sich ganz regelmässig fortbewegen.

Mann kann also aus den Wellenbewegungen des Ballons nicht den Schluss ziehen, dass die warme Zimmerluft sich in gleicher Weise auf und nieder bewege; man wird überhaupt bei solchen Beobachtungen Täuschungen zu vermuthen haben, so lange sich die Beobachtungsresultate in Bezug auf die Luftbewegung nicht auf ungezwungene Weise nach physikalischen Gesetzen erklären lassen.

Deny stellt die Behauptung, dass die Luftströmungen, welche die schlechte Luft enthalten, nur an den abkühlenden Mauern und Fenstern niedersinken, für gelüftete und zugleich geheizte Räume allgemein auf, auch für den Fall der Zuführung warmer Ventilationsluft, wie sie mit der gewöhnlichen Luftheizung und den bisher angewandten Ventilationsöfen geschieht, empfiehlt jedoch diese Zuführungsweise nicht, auch nicht in Verbindung mit seiner erwähnten Abführungsweise, weil die reine Luft emporsteigen und, ohne für die Athmung gedient zu haben, sich unter der Decke mit der schlechten Luft mischen würde, welche sich dort angesammelt hat.

Wenn nun aber dieses Luftgemenge nur an den Abkühlungsflächen herabfliessen und daselbst unten beseitigt würde, welche Luft bliebe in den tieferen Schichten für das Athmen? Darüber sagt Deny nichts. Er verwirft aber mit Recht die starke Vorwärmung der Ventilationsluft bei jeder Zuführungsweise und verlangt, dass die Temperatur der frischen Luft, welche unterhalb der mittleren Athmungshöhe, aber nicht an einer

abkühlenden Wand eintreten soll, nicht höher, besser etwas geringer sei als die normale Temperatur des Raumes. Da hiernach „in der gleichzeitigen Benützung der frischen Luft zur Heizung und zur Ventilation eine Unvereinbarkeit liegt“ (Deny S. 23), hat Deny für locale Heizung einen „Calorifer mit Doppelströmung warmer Luft“ construirt, welcher angeblich allen Bedingungen in Bezug auf rationelle Ventilation und methodische Heizung entspricht.

Es ist ein Füllofen, dessen Feuerraum nebst Füllrohr ähnlich wie bei meinem in § 221 ds. Bs. dargestellten Ventilationsofen gestaltet ist, umgeben mit einem Blechmantel, welcher aus einem unteren sehr weiten und oberen engeren Cylinder besteht. Die beiden ringförmigen Räume sind durch eine horizontale Platte von einander getrennt. Der untere Raum dient zur Vorwärmung der Ventilationsluft, der obere zum Heizen; in den unteren kann man durch einen Kanal Luft aus dem Freien einlassen, welche auf 15 bis 18° C. erwärmt unter der Trennungsplatte durch Oeffnungen in mittlerer Athmungshöhe ausfliessen soll, während circulirende Zimmerluft in den oberen ringförmigen Raum über der Trennungsplatte einfliesst und nachdem sie eine Temperatur von ungefähr 45° erlangt hat, durch die Manteldecke unmittelbar aufwärts und unter ihr seitlich ausfliesst. Diese warme Luft soll, indem sie zunächst zur Zimmerdecke gelangt und an den abkühlenden Wänden niedersinkt, diese letzteren auf der gewünschten Temperatur erhalten.

Deny sagt nicht, dass er die von ihm vorgeschlagene Einrichtung erprobt hat. Nur die Anwendung kann über den Grad der Zweckmässigkeit entscheiden. Indessen ist Grund vorhanden zu behaupten, dass die Leistungen weit hinter den Erwartungen zurückstehen, in Bezug auf angenehme Heizung sowohl als auf gute Lüftung mit verhältnissmässig geringer Luftzuführung.

Es hat seine Schwierigkeiten, den Apparat so einzurichten und zu behandeln, dass die Luftmengen und Temperaturen des circulirenden und ventilirenden Stroms der Absicht entsprechen, und die Luftbewegungen werden andere sein als die gedachten.

Die in mittlerer Athmungshöhe eingeführte mässig erwärmte Ventilationsluft wird theilweise an dem Ofen weiter emporsteigen und sich mit dem heizenden Circulationsstrom mengen, theils auch ungenützt durch die hohlen Panele oder Sockel abfliessen. Die Heizluft aber, gemischt mit den aufsteigenden Producten der Athmung und Hautausdünstung, wird nur theilweise an den abkühlenden Flächen in die hohlen Panele oder Sockel herabfliessen, ein grosser Theil wird sich allmählich schichtenweise von oben nach unten verbreiten, eine gewisse Menge dieser mit verdorbener Luft gemischten Schichten wird zur Wiedererwärmung über

der Trennungsplatte an den Ofen fliessen, die übrige wird weiter herab gelangen und sich mit der unter der Platte eingeführten reinen Luft mischen.

Man wird also bei dieser Einrichtung unreine Mischluft einathmen, und diese wird, wie bei anderen Mischluftheizungen, immer schlechter werden, weil verdorbene Luftmengen von Anfang an immer wieder in Circulation gesetzt und durch neu hinzukommende vermehrt werden, auch das Herabfliessen der mit verdorbener Luft beladenen Heizluft an den Abkühlungsflächen um so weniger, im übrigen Raume um so mehr stattfindet, je wärmer die Wände durch das fortgesetzte Heizen werden.

Und die Heizung selbst? Nicht entfernt entspricht sie der Forderung, den Füssen Wärme, dem Kopfe Kühlung zu bieten, sondern führt das Gegentheil herbei. Zwar wird die durch die zufälligen Oeffnungen eindringende kalte Aussenluft von den hohlen Panelen aufgenommen und so eine sonst vorhandene Hauptursache der Abkühlung des Fussbodens beseitigt. Doch wird die zu Anfang vorhandene kalte Bodenluft und der Fussboden selbst zu wenig erwärmt, wenn nicht zufällig ein gut geheizter Raum darunter liegt, also gewissermassen eine Fussbodenheizung dazu kommt. Aber auch dann noch wird die Mischluft in Kopfhöhe leicht durch viel höhere Temperatur lästig werden.

Haesecke macht in den Schlussbemerkungen zu Deny's Schrift den Vorschlag, an der Fensterwand in den Ecken und nöthigenfalls an den Fensterpfeilern Dampf- oder Gasheizkörper anzubringen, umschlossen von dem in einigem Abstand von der Fensterwand angebrachten Panel, welches die an den Fenstern und Zwischenpfeilern herabfallende kalte Luft aufnimmt und zu den Heizapparaten führt, wo sie etwas über Zimmertemperatur erwärmt wird. Auf diese Weise entstehe nur an der Fensterwand ein auf- und niedergehender Luftstrom, an dem die übrige Zimmerluft nicht theilnehme, und welcher bei richtig disponirten Heizflächen nur so viel Wärme einerseits liefere als andererseits durch Abkühlung nach aussen verloren gehe. Abgesondert von diesem circulirenden Luftstrom soll ferner frische Luft durch einen Kanal von aussen direct zum entsprechend abgetheilten Heizapparat geführt werden und auf Zimmertemperatur erwärmt, in Höhe von etwa 80 Centimeter ins Zimmer gelangend, sich da horizontal ausbreiten, ohne sich mit jenem Strom zu mischen; dann durch die Personen im Raum immer mehr verschlechtert und erwärmt und in die Höhe gehoben, soll sie oben durch einen Abzugsschlot abgeführt werden, aber in der Regel nicht unter der Decke, sondern wenig über oder in Kopfhöhe eines stehenden Menschen, damit oberhalb eine ruhende wärmere Luftschicht sich bilde, welche nur an der unteren Grenze zum Abfluss gelange.

Wie weit die Luftströmungen in der erwähnten Weise vor sich gehen, das experimentell zu untersuchen, wäre höchst interessant und wichtig. Nur Beobachtungen, die unter verschiedenen äusseren und Benützungsverhältnissen angestellt werden, können über den Werth der vorgeschlagenen Einrichtung sicheren Aufschluss geben. Ich vermuthe, die Abweichungen von den gedachten Vorgängen sind nicht unbedeutend.

Die frische Luft wird grossentheils, ehe sie in die Höhe der Athmung gelangt, in die an der Wand vor sich gehenden Strömungen gerissen, gelangt so gegen die Decke, und zwar entweder direct, oder nachdem sie in die Panele hinabgeführt und dort erwärmt worden ist. Ein wirklich circulirender Luftstrom, ein Umlauf derselben Luftmassen, wird sich an der Fensterwand nicht ausbilden. Die aus den Panelen erwärmt emporsteigende Luft wird meistens an die Decke gelangen und da sich ausbreiten, und andere kältere Luftmassen des Raumes nebst den durch die Mauerporen und Fensterfugen eindringenden Luft werden an der Fensterwand in die Panele hinabfliessen. Die Doppelströmung wird hierbei stellenweise in breiten neben einander liegenden Streifen geschehen, so dass einzelne Wandtheile von der kälteren, andere von der wärmeren Luft bespült werden, stellenweise auch so, dass die kältere Luft unmittelbar an der Wand herabsinkt und die wärmere von der vorderen Hälfte des Panelraums aus emporströmst, ohne die Wand zu berühren, also ohne ihren Zweck der Wanderwärmung zu erfüllen, ausser in geringem Grade durch kleine warme Luftmengen, die sich mit dem Gegenstrom mischen.

Auch der Sammelraum der schlechteren Luft mit Abzug wenig über oder in Kopfhöhe eines stehenden Menschen wird nicht günstig wirken, die schlechte Luft wird von da vielfach weiter herabgelangen und die zu athmende Luft durch Diffusion und mechanische Mischung verderben.

Haesecke bemerkt ferner hierzu (S. 97 u. 102), dass sich als Heizapparate in den Panelen, weil man Rauchröhren in der Nähe der Fronten vermeidet, nur Gasheizapparate von besonderer Construction eignen, oder Niederdruck-Dampf-Heizkörper mit Isolirmänteln, Apparate des Heizsystems von Bechem und Post.

Dieses Heizsystem ist in demselben Buche (S. 82 ff.) beschrieben, auch ausserdem in so vielen Büchern, Zeitschriften und Broschüren, dass es als bekannt gelten kann. Desshalb darf ich mich hier auf einige Bemerkungen darüber beschränken.

Die geschickte Combination älterer Ideen und bekannter Einrichtungen, namentlich die sinnreiche Weise, in welcher dem Wärmebedürfniss ent-

sprechend die Mehrung und Minderung der Wärmeerzeugung erreicht werden kann, verdient Anerkennung, doch darf man den Werth dieses Heizsystems nicht überschätzen, es nicht als entschieden das beste, nicht als ein vollkommenes Heiz- und Lüftungs-System bezeichnen. Die Besprechungen in Versammlungen technischer Vereine*) haben klar gelegt, dass verschiedene anders eingerichtete Niederdruck-Dampfheizungen, wie auch Niederdruck-Wasserheizungen in gewissen Beziehungen vorzuziehen sind. Manche Bedenken hat man allerdings erhoben, die wenig oder gar nicht begründet sind. Aber das muss wohl hier erwähnt werden, dass die Bezeichnung: Niederdruck-Dampfheizung mit selbstthätiger Regulirung häufig unrichtig aufgefasst und zu hoch angeschlagen wird. Die Selbstthätigkeit des Apparats bezieht sich nicht auf die Zimmertemperatur, und nicht nach dieser regulirt sich die Wärmeabgabe der Heizkörper und die Verbrennung des Heizmaterials. Die Verbrennung regulirt der Apparat selbstthätig nach der Wärmeabgabe der Heizkörper, diese Wärmeabgabe jedoch und damit die Zimmertemperatur muss von Menschenhänden durch Klappen regulirt werden, deren Einstellung nicht immer richtig geschieht, auch oft vergessen wird. Infolge dessen wird darüber geklagt, dass der „regulirbare Ventilations-Zimmer-Kalorifer", wenn er oben geschlossen ist, den Füssen der im Zimmer befindlichen Personen einen empfindlich kalten Zug zuführt. — Die Personen mögen alsdann für Abstellung der Belästigung sorgen;**) wenn aber solche Abkühlung bei leeren Zimmern während einer kalten Nacht vor sich geht, so ist am andern Tage der Fussbodenkälte nicht so leicht abzuhelfen.

Man kann zwar durch richtige Klappenstellung erreichen, dass stark oder schwach geheizt und dass stark oder schwach gelüftet wird; man kann aber nicht die beiderseitigen Vorgänge ganz nach Wunsch vereinigen. So lange nicht ventilirt werden soll, kann man keine oder wenig

*) Gesundheits-Ingenieur 1886 S. 673 und S. 734. — Wochenblatt für Baukunde 1886 S. 113. — Den beiden letztgenannten Berichten einer Sitzung des Architekten- und Ingenieur-Vereins für Niederrhein und Westfalen gegenüber vergleiche man die Erklärung von Herrn J. Einbeck im Gesundheits-Ingenieur 1886 S. 797.

**) In dem Bericht über die allgemeine Deutsche Hygiene-Ausstellung in Berlin (Breslau 1886, III. Bd. S. 177) sagt der Bearbeiter des Kapitels Heizung und Lüftung, K. Hartmann, dass am Fusse des Zimmerkalorifers an den Oeffnungen für Aussenluft und Zimmerluft zwei gekuppelte Drosselklappen vorhanden sind, welche durch eine Kurbel so bewegt werden, dass ein Oeffnen der einen Klappe ein gleichzeitiges Schliessen der andern bewirkt. — Das Einströmen kalter Luft ins Zimmer kann dabei vorkommen, wenn beide Klappen auf eine Zwischenlage gestellt sind.

oder viel Circulationsluft durch den Zimmerkalorifer fliessen lassen, also das Zimmer nicht oder schwach oder stark heizen. Auch wenn Heizung mit wenig Ventilation gewünscht wird, hat man die Temperatur ziemlich in seiner Gewalt, indem man mit der Circulationsluft wenig frische Luft durch den Kalorifer fliessen lässt. Ist aber viel frische Luft nöthig und wird desshalb der Ventilationskanal und der obere Kaloriferschieber weit geöffnet, so erfolgt leicht entweder zu geringe oder zu grosse Erwärmung des Zimmers. Wenn nämlich der Apparat gross genug ist, dass das grösste Ventilationsquantum bei strenger Kälte genügend erwärmt wird, so ist bei guter Ventilation die Erwärmung an milden Wintertagen zu stark, man mässigt die Temperatur auf Kosten der Ventilation. Passt aber der Apparat für ausgiebige Ventilation ohne zu grosse Erwärmung an milden Wintertagen, so erwärmt er ein grosses Quantum sehr kalter Ventilationsluft nicht genügend. Die Ventilation oder die Erwärmung wird daher häufig unzureichend sein, und bei den oft rasch wechselnden Aussentemperaturen wird es nicht angehen solche Missstände durch Aenderung der Regulatorstellung zu heben. Es ist auch nicht rationell, dass bei geringem Heizbedürfniss die durch die Klappe eingelassene geringere Menge Circulations- oder Ventilationsluft um so heisser einströmt.

Dass die Ventilation bei den bisherigen Anwendungen dieses Systems nicht reichlich war, geht daraus hervor, dass das Bedürfniss der Luftbefeuchtung dabei nicht laut geworden ist. In einer Broschüre von Bechem und Post (ohne Jahrzahl) heisst es auf Seite 20: „Zu grosse Austrocknung der Zimmerluft wird in Folge der Diffusion der Wandungen unserer gusseisernen Heizkörper vermieden. In dieser Diffussion ist auch der Grund für den von uns constatirten Wasserverlust in unserm sonst ganz geschlossenen System und also die Nothwendigkeit einer temporären Speisung des Kessels zu suchen. Eine besondere Wasserverdunstung ist daher im Allgemeinen nicht erforderlich."

Ferner in einer Broschüre derselben Firma, 1884 S. 4: „Die Wasser- und Dampfheizungen liefern in Folge der Diffusionsfähigkeit aller Körper eine feuchte Wärme, namentlich wenn die Heizkörper aus Gusseisen, das eine erhöhte Durchlässigkeit besitzt, bestehen."

In einer dritten Broschüre von 1886, welche einen von Herrn Oberingenieur Einbeck in Strassburg gehaltenen Vortrag enthält, ist auf Seite 11 gesagt: „Erfahrungsgemäss geht etwas Wasser verloren, wohl zum Theil durch das offene Standrohr, zum Theil durch die Poren der gusseisernen Heizkörper, so dass während 2 bis 3 Wochen 20 bis 30 Liter Wasser nachzufüllen sind."

In Bezug auf Luftbefeuchtung ist das kaum der Rede werth, da ohne Zweifel das meiste Wasser durch das Standrohr verloren geht, in dessen untere Mündung aufsteigende Dampfblasen gelangen, dagegen die durch die gusseisernen Wände der Heizkörper an die Heizluft übergehende Wassermenge gewiss sehr klein ist, wenn eine solche Diffusion überhaupt bei dem geringen Ueberdruck stattfindet.

Es mag hier eine kleine Berechnung folgen. Gesetzt es gehen in 2 Wochen sogar schon 30 Liter Wasser verloren, also in einem Tag 2,1 Liter, in einer Stunde 0,087 Liter. Auf Diffusion durch die Heizkörper möge nahezu der vierte Theil mit 0,02 Liter oder 20 Gramm gerechnet werden.

Für einige Zimmer von zusammen 300 Kubikmeter Rauminhalt werde nur stündlich zweimaliger Luftwechsel angenommen, so dass 600 cbm. Luft in der Stunde zu befeuchten sind. Die Vermehrung der Luftfeuchtigkeit werde nur um 10 Procent der Sättigung, z. B. von 30 auf 40% verlangt. Bei 20° C. ist 1 Kubikmeter Luft gesättigt mit 17,23 Gramm Wasser; man hätte also $600 \times 0,1 \times 17,23 = 1033,8$ Gramm oder über 1 Liter Wasser stündlich zur Befeuchtung nöthig, wogegen unter günstigen Voraussetzungen nur etwa der fünfzigste Theil wirksam ist. Bei ausgiebiger oder auch nur mittelmässiger Ventilation müsste demnach die Zimmerluft entschieden zu trocken werden.

Da die Niederdruck-Dampfheizkörper in den Isolirmänteln stets nahezu die gleiche Temperatur in der ganzen Ausdehnung der Heizfläche haben, die Heizwirkung durch Vergrössern oder Verkleinern der oberen Ausströmungsöffnung regulirt wird, dagegen die entsprechende Erwärmung einer stets gleich grossen Menge Ventilationsluft je nach den verschiedenen Aussentemperaturen verschiedene Wärmemengen erfordert, so schlägt Haesecke für die Erwärmung der frischen Luft auf Zimmertemperatur bei seiner oben angegebenen getrennten Anlage (S. 102) vor, zwischen der am Fusse der Hinterwand des Isolirmantels befindlichen Zuströmungsöffnung der Aussenluft und dem Dampfheizkörper eine vertical bewegliche Wand einzuschalten, wodurch der eintretende kalte Luftstrom gezwungen wird, zuerst mehr oder weniger aufwärts und dann an der Heizfläche niederzugehen, um am Fusse derselben, wo sich sonst die Einströmungsöffnung der Circulationsluft befindet, aus dem Isolirmantel zu strömen. „Je mehr die bewegliche Wand niedergelassen wird, um so kürzer ist der Weg an der Heizfläche, da der Luftstrom unmittelbar über den oberen Rand dieser Wand hinweggeht und die heisse Luft darüber unberührt davon bleibt und von der kalten nicht abwärts verdrängt werden kann.“

Dazu glaube ich bemerken zu müssen, dass der kalte Luftstrom,

wenn er — wie es bei günstigen Druckverhältnissen und noch mehr bei gewisser Windpressung geschieht — mit ziemlicher Geschwindigkeit an der Schiebewand ankommt und sich daran emporbewegt, sich vermöge der Inertie auch noch weiter aufwärts bewegt und sich vielfach mit der heissen Luft im oberen Raume des Isolirmantels mischt.

Besser würde sich der Zweck durch veränderliche Höhe der Ausströmungsöffnung an der durch den Isolirmantel gebildeten kleinen Heizkammer erreichen lassen, wie es von mir S. 761 ds. Bs. für Luftheizkammern, jedoch als für solche wegen unbequemer Benützung nicht besonders geeignet angegeben, auch von Herm. Fischer*) in einer Skizze veranschaulicht ist.

Der „Ventilations-Zimmer-Kalorifer" mit seinen für die Wärme undurchdringlichen Wänden ist in der That eine kleine Heizkammer, aber bei dieser lassen sich die für Luftheizungen in § 284 ds. Bs. empfohlenen Mischkanäle und Mischräume der kalten und warmen Ventilationsluft nicht so gut in Anwendung bringen.

Ueberhaupt ziehe ich eine richtig angelegte Feuerluftheizung, namentlich mit Anwendung von Luftöfen in den Zimmern, der Niederdruck-Dampfheizung vor, wenngleich in der Broschüre von Bechem und Post von 1884 Seite 6 die Zusammenstellung der Vorzüge der verschiedenen Heizsysteme in Summa für die Luftheizung — 1, dagegen für das System Bechem und Post + 11 ergibt.

Mit Ausnahme des Umstandes, dass Luftheizung sich in alten Gebäuden gewöhnlich nicht leicht anbringen lässt, hat sie bei zeitgemässer Anlage — in welcher Beziehung unter Anderem die von Prof. Herm. Rietschel in seinen Untersuchungen von Anlagen für Heizung und Lüftung in Schulen zusammengestellten Ergebnisse und Vorschläge zu berücksichtigen, dagegen Einrichtungen mit 20 oder 30 in der Heizkammer selbst zu bedienenden kleinen Oefen auszuschliessen sind — alle guten Eigenschaften wie jenes, und zum Theil in höherem Grade.

Die Luftheizung ist bei neuen Gebäuden ohne Schwierigkeit, aber mit weit geringeren Kosten einzurichten; die Bedienung ist leicht, der Brennstoffverbrauch gering, die Gefahrlosigkeit gegen Explosion und Frost jedenfalls entschiedener, Feuersgefahr bei fachgemässer Ausführung auch nicht vorhanden, der Betrieb geräuschlos, die Regelung der Temperatur eben so gut und einfach, aber auch bei voller Lüftung möglich, die Ventilation überhaupt besser als bei Bechem u. Post'scher Niederdruck-

*) Handbuch der Architektur. 1881. 4. Band. S. 247.

Dampfheizung, dabei richtige Luftbefeuchtung leichter zu bewerkstelligen und Luftverderbniss eben so leicht zu verhüten.

Wenn man bei einer gewöhnlichen Feuer-Luftheizung wie bei der Niederdruck-Dampfheizung von Bechem und Post die Warmluftöffnung schliesst, so wird damit bei der ersteren zwar die Wärmeerzeugung nicht gemindert, das Feuer im Ofen brennt ebenso wie vorher fort. Allein es sammelt sich dabei in den Heizkammer- und Kanalmauern Wärme an, welche dem ganzen Hause wieder zu gut kommt. Ueberdies findet das Dienstpersonal bald heraus, wie viel Brennstoff man bei den verschiedenen Aussentemperaturen täglich aufzugeben und wie man den Luftschieber am Feuerraum zu stellen hat, um ohne Verschwendung zu heizen und nicht viel Regelung weiter nöthig zu haben.

Dass man bei dem Zimmerkalorifer gänzlich auf strahlende Wärme verzichten muss, betrachte ich als einen Mangel. Es müssen sich damit auch grosse Temperatur-Unterschiede zwischen Fussboden und Decke, beziehungsweise Kopfhöhe ergeben. Bei den Luftheizungen gewöhnlicher Einrichtung ist das schon insofern besser, als die Wand, in welcher die Warmluftkanäle liegen, warm ist; und bei weitem angenehmere Zustände haben sich unter gleichen Verhältnissen bei Anwendung meiner in den Zimmern aufgestellten Luftöfen ergeben, welche nach § 271 oder ähnlich, wenn auch nur für Ventilations-Luftheizung, ausgeführt wurden.

Noch bessere Ergebnisse lassen sich von Anlagen für Wandheizung, Lambris- und Fussbodenheizung erwarten (S. 889 und 890 ds. Bs.).

Die wünschenswerthe Erwärmung der kalten Fensterwände lässt sich dadurch erreichen, dass man doppelte Aussenmauern baut, deren Hohlräume durch Luftkanäle mit Heizkammern einfacher oder combinirter Systeme (§ 271 ds. Bs.) in Verbindung stehen, oder in welchen durch eingelegte Heizröhren die Luft erwärmt wird. Die Wanderwärmung kann durch Doppelströmung oder durch Luftströmung in bestimmter Richtung nach Art einer Umlaufheizung oder Ventilationsheizung bewerkstelligt werden.

Aehnliches ist bereits ausgeführt:*) „ein Haus mit doppelten Wänden und Heizung im Innern der Mauern" in der Fabriksanlage von Geneste u. Herscher in Creil an der Oise, wo bei Erbauung eines Wohnhauses von zwei Geschossen und einem Dachstockwerk

*) Revue d'Hygiène 1885 No. 11 und 1886 No. 3. — Gesundheits-Ingenieur 1886 No. 16.

auf tief liegendem feuchten Grunde Ingenieur Somasco den ungünstigen Einflüssen durch diese aussergewöhnliche Heizeinrichtung vorbeugen wollte.

Die äussere Backsteinmauer ist 22 cm dick, die innere 11 cm, der Abstand beträgt 20 bis 22 cm. Mit diesen Hohlräumen steht ein weiterer Gang längs der Umfassungsmauern des Kellergeschosses in Verbindung. In diesen Gang gelangt durch grosse Oeffnungen auf allen Seiten die Aussenluft und wird darin durch Heisswasserröhren erwärmt. Die erwärmte Luft steigt in den Hohlräumen der Mauern empor und fliesst in die Räume des Dachstockwerks aus.

Zur Vorsorge für alle Fälle ist jeder Wohnraum mit einem besonderen Heizkamin versehen, der auch ohne geheizt zu sein, zur Luftabführung dient; besondere Oeffnungen für die Zuluft sind nicht vorhanden.

Die Leistungen dieser Einrichtung scheinen befriedigend zu sein, sie werden nach zweijährigen Erfahrungen folgendermassen angegeben: Die Temperatur der Heizluft betrug 45 bis 50°, die Temperatur der Wände an der inneren Oberfläche im Erdgeschoss 30 bis 36° und blieb in diesen Grenzen trotz aller Temperaturschwankungen der Aussenluft. Im nächstoberen Geschoss war die Temperatur der Innenwände um etwa 3° geringer. Die Heizluft gelangte mit ungefähr 40° in die Dachgeschossräume.

Von Feuchtigkeit war im Innern des Hauses nichts zu bemerken, im Gegentheil wurde die Luft so trocken, dass man das Bedürfniss hatte sie anzufeuchten, was man durch Aufstellen zahlreicher grüner Pflanzen zu erreichen suchte. Obwohl die Zuluft durch die unvermeidlichen Oeffnungen kalt eindrang und die Kamine nicht geheizt wurden, war der Aufenthalt im Hause angenehm. In der Mitte eines jeden Zimmers zeigte bei geschlossenen Fenstern das Thermometer nie weniger als 14° und bei offenen Fenstern nie weniger als 8°. Nur im Speisesaal, dessen Fenster während des ganzen Morgens offen blieben, musste der Kamin zuweilen etwas geheizt werden.

Aus diesen Ergebnissen darf man wohl schliessen, dass durch Wandheizung, und noch mehr jedenfalls wenn Bodenheizung hinzukommt, also hauptsächlich durch allseitige milde Wärmestrahlung, angenehme sommerliche Zustände herbeigeführt werden können und dass dann bei geräumigen Wohnungen für den Luftwechsel eine entsprechend grosse Oeffnung an der Decke mit einem Luftschacht genügt, und zwar ohne besondere Lufteinführung, örtliche Verhältnisse jedoch vorausgesetzt, bei welchen nur reine Luft eindringt und nicht das Zufliessen schlechter Luft begünstigt wird. Wir wissen ja jetzt, dass grosse Luftmengen nicht nur durch die sichtbaren Fugen und Ritzen, sondern auch durch die

Poren der Wände, Fussböden und Decken ihren Weg finden; wir stehen nicht mehr auf dem Standpunkt Franklin's, der im Jahre 1785 in einem Briefe über das Rauchen der Kamine an einen Freund schrieb: „Da die Thüren und Fenster gut gearbeitet sind, so werden diese genau einschliessen und das ganze Zimmer wird demnach so dicht zugehen als eine Tobackdose. Es hat weiter keine Oeffnung, durch welche die Luft kommen kann, als das Schlüsselloch, das aber auch noch die meiste Zeit mit einem Schieber versehen ist.“*)

Ferner lässt sich aus den mitgetheilten Ergebnissen schliessen, dass für stärkeren Luftwechsel eine geringe Vorwärmung der besonders, aber in gehöriger Vertheilung, zuzuführenden Ventilationsluft nöthig ist, und dass diese Vorwärmung leicht und mit verhältnissmässig geringen Kosten durch gewöhnliche Luftheizung oder durch Dampf- oder Wasser-Luftheizung oder durch Ventilations-Gasöfen erreicht werden kann.

Ueber den Brennstoffbedarf enthalten die angegebenen Quellen nichts. Ohne Zweifel ist er bei der beschriebenen Einrichtung gross. Er wird aber geringer, wenn man die äussere Mauer dicker, die innere dünner macht, um die verschwenderische Wärmetransmission nach aussen zu verringern und die erwünschte Wärmetransmission nach innen zu vermehren. Man wird die äussere Mauer anstatt 22 cm wenigstens 50 cm dick machen und die innere anstatt 11 cm höchstens 9 cm bei Verwendung von Schlotsteinen dieser Breite, oder etwa 5 cm bei Anwendung Rabitz'scher Patentwände u. dgl.

Die Weite des Hohlraums ist mit 20 bis 22 cm sehr reichlich, wenn auch nicht nachtheilig. Man wird sie aber auf 15 und sogar auf 10 cm vermindern dürfen, wenn der dadurch zu erreichende Raumgewinn für die Zimmergrösse von Belang ist.

Das System der Fussboden- und Wandheizung mit aufwärts gerichteten Luftwechsel wird die Bezeichnung rationell mehr als ein anderes System verdienen. Zwar ist die Vermuthung nahe liegend, dass bei rasch eintretender warmer Witterung die gut durchheizten Räume auf einige Zeit noch zu warm bleiben. Das wird jedoch nicht in hohem Grade der Fall sein, wenn man Boden und Wände nur auf sommerliche Temperatur erwärmt, und man wird durch Oeffnen einiger Fensterflügel, wenn es an andern ausgiebigen Ventilationsmitteln fehlt, wie an einem kühlen Sommermorgen bei durchwärmtem Hause sich Erfrischung verschaffen können.

*) „Ueber das Rauchen der Kamine und der Schornsteine, in einem Schreiben des Herrn Dr. Benjamin Franklin an den Herrn Dr. Ingenhauss in Wien, aus dem Englischen übersetzt und mit Anmerkungen versehen von P. H. C. B. — Hamburg, bei Carl Ernst Bohn. 1788.“ Seite 12.

Die Vorzüge der antiken Boden- und Wandheizung (§ 224 ds. Bs.) vor unseren Heizungen sind schon öfters hervorgehoben worden, auch von Haesecke bei verschiedenen Gelegenheiten, in seiner Schrift von 1877 und wieder im Anhang zu Deny's Preisschrift (S. 75), wo er als vielleicht das erste neue Beispiel dieser Art die Heizung und Lüftung im neuen Gebäude der Lebensversicherungs-Gesellschaft in New-York nach dem Sanitary Engeneer 1884 anführt; dann kürzlich von Kreisbauinspector Meydenbauer*) in seiner Beschreibung der Heizeinrichtungen in den Bauten der Deutschen Ordensritter in Marburg: „Wahrscheinlich am Ort ihrer Berufung, in Palästina, hatten die Herren das antike Hypokaustum, die Fussbodenheizung, kennen gelernt, welche allein im Stande ist, einen Raum gleichmässig durchzuwärmen."

Unsere mehrstöckige Bauweise bedingt freilich ganz andere Einrichtungen, die jedoch unserer heutigen Bautechnik mit Verwendung des Eisens keine zu grossen Schwierigkeiten bieten (vgl. § 271. III ds. Bs.). Immerhin erscheinen Vorschläge für solche Ausführungen als neu, die ersten Anlagen sind Versuchsanlagen.

An vielseitige Einführung der Wand- und Fussbodenheizung ist vorläufig nicht zu denken, kaum ist auf die Ausführung einzelner Versuchsanlagen dieser Art zu hoffen, weil sich nicht leicht ein Bauherr entschliesst, Einrichtungen zu bezahlen, die nicht mehrfach praktisch erprobt sind und daher möglicher Weise wieder beseitigt werden oder unbenützt bleiben müssten.

Es sollen daher gegenwärtig andere Anlagen, die zwar in mancher Hinsicht weniger zweckmässig sind, denen aber ein solches Bedenken nicht entgegen steht und deren Entstehung oder Verbesserung der neueren Zeit angehört, nicht unerwähnt bleiben.

Dazu gehören ausser dem System Bechem u. Post noch verschiedene Anlagen der offenen Warmwasserheizung, auch Niederdruck-Wasserheizung genannt, und der Niederdruck-Dampfheizung, wie die Anlagen von Walz und Windscheid in Düsseldorf, Gebrüder Körting in Hannover, Käuffer und Comp. in Mainz und Berlin, A. W. Müller in Danzig, Martini in Chemnitz, Eisenwerk Kaiserslautern und Anderen. Werthvolle und interessante Neuerungen sind namentlich die dabei angewandten Regelungsvorrichtungen, wenngleich sie grossentheils nicht als neue Erfindungen auftreten, sondern zur Grundlage ältere aber wenig bekannt gewordene Apparate haben, wie solche Péclet als Temperatur-Regulatoren für Trockenkammern vor etwa 30 Jahren

*) Centralblatt der Bauverwaltung 1886, No. 52, S. 514.

im fünften Kapitel des zehnten Buchs seines Werkes Traité de la chaleur beschrieben hat; Apparate, welche Klappen oder Schieber am Schornstein oder Aschenraum bewegen oder eine Oeffnung, durch welche die Aussenluft in den Feuerraum gelangt, verengen und schliessen, wenn die Temperatur des Trockenraums eine bestimmte Grenze überschreitet. Es ist dort auseinandergesetzt, wie diese Wirkung auf verschiedene Weise durch Ausdehnung von Metallen oder Bewegung gekrümmter geschlossener Röhren oder durch die Ausdehnung einer Flüssigkeit oder eines Gases mit Verschiebung von Oel oder Quecksilber in umgekehrten Hebern oder theilweise beweglichen Doppelröhren oder auch durch Electricität erreicht werden kann.

Ich verzichte hier auf die Beschreibung der vielen ähnlichen und verschiedenartigen Anlagen oben genannter und anderer Fabrikfirmen, da sie bereits mehrfach veröffentlicht wurden.*)

Auf die Anlage von Bechem und Post komme ich noch einmal zurück, um einige Bemerkungen daran anzuknüpfen, und will dann die neueren Regelungs-Vorrichtungen der Niederdruck-Dampfheizung des Eisenwerks Kaiserslautern darstellen und beschreiben, weil diese Vorrichtungen noch nicht veröffentlicht sind.

Zwar ist es auch ohne selbstthätigen Regulator möglich, bei Verwendung von nicht stark schlackenden Koks das Feuer einer Heizungsanlage mit wenig Mühe lange Zeit zu erhalten, wie ich selbst mit meinem Luftheizofen im eigenen Hause erreichte, dass drei Monate lang das Feuer nicht ausging, wobei sich kein grösserer Koksaufwand herausstellte, als bei täglich erneuter Heizung. (S. 733—738 ds. Bs.) Allein durch die selbstthätige Regelung wird die Erreichung dieses Zweckes bei vereinfachter Bedienung mehr gesichert, sie ist daher als ein Fortschritt im Heizungswesen zu bezeichnen und es haben Bechem u. Post das Verdienst, solche Regelung für häusliche Centralheizung in weiten Kreisen eingeführt zu haben. Ihr Dampfdruck-Regulator besteht bekanntlich aus einem festen verticalen unten offenen Rohre, das oben mit dem Dampfraum des Kessels in Verbindung steht, und aus einem zweiten, das erste umgebenden oben offenen und unten geschlossenen Rohre, welches bei der ursprünglichen Einrichtung an einem astatischen Hebel aufgehängt, sich frei über dem festen Rohre auf und nieder bewegen lässt. Das bewegliche weitere Rohr ist so weit mit Quecksilber gefüllt, dass die untere Oeffnung des festen Rohrs stets unter Quecksilberabschluss bleibt. An

*) Neueste Zustammenstellung und Besprechung von Prof. H. Fischer enthält die Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1886, No. 31, S. 670, mit Abbildungen. Auszug daraus Gesundheits-Ingenieur 1887, No. 4, S. 136. Weiteres ist daselbst unter den neuesten Auszügen aus Patentschriften zu finden.

dem beweglichen äusseren Rohr hängt der Ventilteller, welcher durch Auf- und Niedergehen den Luftzuführungskanal unter dem Rost öffnet oder schliesst. Durch ein an dem freien Arm des Hebels angebrachtes Laufgewicht wird dieser so ausbalancirt, dass bei geringster Vermehrung des Drucks auf das Quecksilber ein Sinken des beweglichen Rohrs und damit Verengung des Lufteinlasses zur Feuerung erfolgt. Bei der neueren Einrichtung ist das äussere Rohr, an dessen unterem Ende der Ventilteller hängt, oben an einer sehr empfindlichen verstellbaren Bronzefeder aufgehängt.

Das den Regulator mit dem Dampfraum des Kessels verbindende Rohr wird sich alsbald mit Condensationswasser gefüllt haben, welches darin bleibt. Auf das Quecksilber drückt also der Dampf sammt diesem Wasser und mittels desselben. Die constante Wasserhöhe kann leicht 1 m sein, ihr Druck $^1/_{10}$ Atmosphäre, also eben so viel, wie bei dieser Heizung als normaler Dampfüberdruck angegeben ist. Der Nullpunkt der Regulatorskala muss demnach bei nicht vorhandenem Dampfdruck, aber bis oben mit Wasser angefülltem Druckrohr festgestellt werden, was sehr einfach wäre, wenn man das Druckrohr horizontal oder etwas nach aussen fallend vom Niveau des Wasserraums ausgehen liesse, hingegen bei der heberartigen Gestalt des an der Kesseldecke abgehenden Druckrohrs seine Schwierigkeit hat. Indessen wird man bei den ausgeführten Anlagen diese Verhältnisse berücksichtigt haben.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass ein solcher Regulator nach Absicht wirkt, wenn er richtig montirt wurde, auch die Feuerungsanlage richtig ausgeführt ist und Alles in Ordnung gehalten wird. Letzteres ist aber nicht immer der Fall, und daraus vorzugsweise mögen die unangenehmen Vorfälle zu erklären sein, von welchen sogleich die Rede sein wird.

Ich will absehen von undichtem Kesselmauerwerk, durch welches dem Feuer Luft zufliessen könnte, auch von der Nahrung des Feuers durch eine Doppelströmung*) im Schornstein, wenn der Rauchkanal nicht in einiger Tiefe unter dem Feuerherd in den Schornstein mündet. Aber ein stets vorhandenes ernstlicheres Bedenken drängt der Schluss des Füllrohrs auf. Das Füllrohr von cylindrischer oder konischer Form ist mit einem Deckel geschlossen, welcher mit abwärts stehendem Rande in einer mit Sand gefüllten Rinne liegt. Solche Füllrohre mit Sandschluss hatte ich auch schon bei meinen Röhrenöfen für Localheizung (S. 680 ds. Bs.) und bei meinen ersten Centralheizöfen in

*) S. 420 und 648 ds. Bs.

Anwendung gebracht, fand aber den Deckelschluss häufig nicht so wie er sein sollte. Bald war die Sandfüllung in Ordnung, aber der Deckel nicht gehörig in diese eingedrückt, bald lagen in der Sandrinne Koksstückchen, welche den Deckel zu hoch hielten, bald war der Sand aus der Rinne durch heftigen Luftzug in das Füllrohr weggeblasen. Die Folge davon war, dass die Koks schon im Füllrohr verbrannten, das Füllrohr ins Glühen kam und sogar in einigen Fällen rasch durchgebrannt war. Diese Beobachtungen machte ich nicht nur bei Wohnhäusern, wo die Heizung von einem Dienstmädchen besorgt wurde, sondern auch in einer Schule, wo der Hausmeister, und in einer Fabrik, wo ein Kesselheizer die Oefen zu besorgen hatte. Ich liess desshalb später das Füllrohr mit schrägem Oeffnungsrand ausführen, damit nicht Koksstückchen darauf liegen bleiben konnten, und liess bei diesem wie auch bei den schrägen Füllrohren aufgeschliffene Scharnierdeckel anbringen, wie aus den Darstellungen meiner Luftheizöfen S. 733, 740, 746 ds. Bs. ersichtlich. Aber es wiederholten sich die Fälle, dass das Füllrohr rasch leer gebrannt war, weil nach dem Füllen manchmal vergessen wurde, den Deckel wieder zu schliessen!

Solche Dinge können überall vorkommen, und sie können bei der Niederdruck-Dampfheizung sehr störend und sogar gefährlich werden.

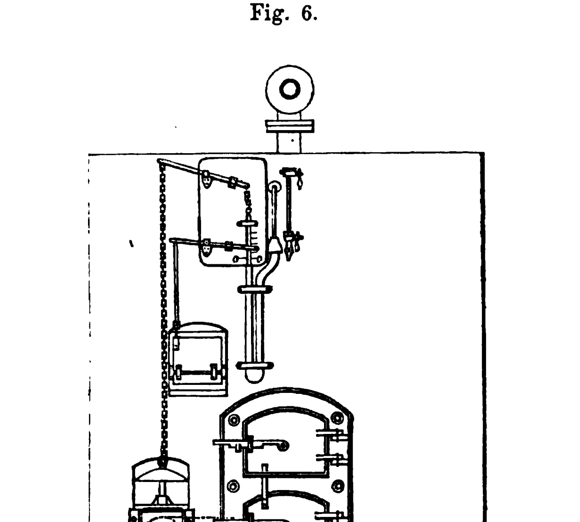
Es sind mir mehrere Fälle bekannt geworden, in welchen bei der Niederdruck-Dampfheizung von Bechem u. Post das Kesselwasser ausgeworfen und der Kessel ausgeglüht wurde. In einem Falle soll der Kessel bis zum obersten Rande glühend gewesen sein, und sich die Nothwendigkeit ergeben haben, den erst einige Wochen benützten Kessel durch einen neuen zu ersetzen. Bei einer andern Anlage dieser Art ist das nächtliche Ausglühen des Kessels in einem Winter zweimal vorgekommen. Man hat sich dann mit einem Wasserabschluss des Schornsteins zu helfen gesucht, welcher durch das ausgeworfene Kesselwasser bewerkstelligt wird. Allein es ist schon misslich, wenn das Wasser ausgeworfen wird. Eine Verbesserung in dieser Beziehung ist bei Vergleichung der älteren und neueren Darstellungen der Kesseleinrichtung von Bechem und Post darin zu erkennen, dass früher das Standrohr bis nahe an den Boden des Kessels hinabreichte, jetzt nur auf etwa halbe Tiefe reicht. Allein das genügt nicht zur Verhütung der erwähnten Vorkommnisse. Man darf sich nicht auf den Schluss des Tellerventils zum Zwecke der Unterdrückung der Hitzeentwicklung bei zu grosser Dampfspannung beschränken.

Eine wesentliche Verbesserung in diesem Sinne weist der Dampfdruck-Regulator des Eisenwerks Kaiserslautern auf. Dieser Regulator für Niederdruck-Dampfkessel hat wie andere Regulatoren den Zweck,

den Brennmaterialverbrauch nach dem jeweiligen Dampfverbrauch zu reguliren und den Dampfdruck auf der richtigen Höhe zu erhalten, wirkt aber in der Weise, dass er bei zu hoch steigender Dampfspannung nicht nur der zur Verbrennung dienenden Luft den Weg zum Rost abschneidet, sondern auch kalte Luft in die Rauchzüge eintreten lässt. Ich bringe die Construction in den Figuren 6 und 7 zur Darstellung.

Vor der Kesselummauerung ist eine U-förmige Röhre befestigt, welche zum Theil mit Quecksilber gefüllt ist. An dem einen Schenkel dieser

Fig. 6.

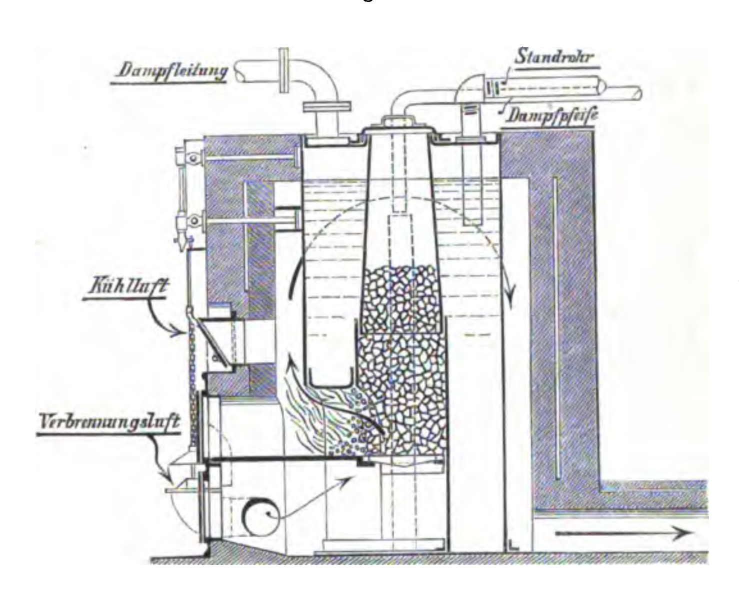


U-Röhre setzt sich oben das Druckrohr fort, welches horizontal in den Dampfraum geht, und zwar in solcher Höhe, dass man auf dem Wasserstandszeiger ersehen kann, ob der Kessel bis zu dieser Höhe gefüllt ist, was bei erster Füllung geschieht, um das Druckrohr bis oben mit Wasser anzufüllen. Das obere Ende des andern Schenkels der U-Röhre ist offen und umschliesst eine Stange, an deren unterem Ende sich ein in Quecksilber schwimmender Kolben befindet. Die Kolbenstange ist mit einer Kette an einen doppelarmigen Hebel gehängt, und eine Kette am andern Hebelarm trägt einen Ventilteller schwebend über einem Krümmer, durch welchen die zur Verbrennung dienende Luft bei gehobenem Teller unter den Feuerrost gelangt. Bei steigendem Dampfdruck hebt sich der

Schwimmer und senkt sich das Tellerventil, welches den Krümmer schliesst, sobald das Maximum des gewünschten Dampfdrucks erreicht ist.

Steigt trotzdem der Dampfdruck im Kessel noch höher, so greift ein Stift der sich weiter hebenden Schwimmerstange unter einen zweiten, tiefer als der erste angebrachten Hebel und bewirkt durch Herabgehen eines am andern Hebelarm befestigten Stäbchens das Oeffnen einer in mittlerer Höhe der Kesselummauerung angebrachten Klappe, so dass daselbst Kühlluft in die Kesselfeuerzüge einströmt, wodurch das Feuer gedämpft und der Dampfdruck gemindert wird.

Fig. 7.



Damit auch nicht durch fahrlässiges Offenlassen der Aschenfallthür ein Steigen des Dampfdrucks eintritt, legt sich ein auf die Aschenfallthür aufgenieteter Eisenstab so unter die Feuerthür, dass zwar diese allein, nicht aber die Aschenfallthür allein geöffnet werden kann, und man, um die Aschenfallthür öffnen zu können, immer erst die Feuerthür öffnen muss.

Noch ist zu erwähnen,. dass das Standrohr nicht sehr tief in den Kessel reicht, sondern nur wenig unter den niedrigsten Wasserstand. Es kann folglich bei zu hoch gestiegenem Dampfdruck nur ein kleiner Theil des Wassers durch das Standrohr ausgeworfen werden, die grösste Wasser-

masse bleibt zurück. Darin liegt ein weiteres Vorbeugungsmittel gegen das Ausglühen des Kessels.

Niederdruck-Dampfheizungen sind vom Eisenwerk Kaiserslautern in jüngster Zeit zahlreich ausgeführt worden und sollen sich gut bewähren; so unter Anderen in Elberfeld (4), Mannheim (2), Ludwigshafen, Mülheim a. Rh., Cassel, Lüdenscheid, Mailand. Ich habe nicht gehört, dass dabei einmal das Auswerfen des Kesselwassers und Ausglühen des Kessels oder sonst eine Bestriebsstörung vorgekommen ist.

Dritte Abhandlung.

Ueber Luftfeuchtigkeit.

Erster Theil.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Luft, ein wichtiger Factor unseres Wohlbefindens.

Die mit der Luftfeuchtigkeit zusammenhängenden Fragen sind in mehreren Paragraphen dieses Buches behandelt. (§§ 56—62, 97—100, 272—276, 280.) Inzwischen sind über den wünschenswerthen Grad der relativen Feuchtigkeit der Zimmerluft und die Zweckmässigkeit der Luftbefeuchtung verschiedene Ansichten zu Tage getreten. Der Erste, welcher auf Grund ausgedehnter Beobachtungen des Befindens verschiedener Personen im Zusammenhang mit Hygrometeraufzeichnungen sehr trockene Luft für unschädlich und sogar wünschenswerth erklärte, ist Professor Lasius*) in Zürich. Er berichtet, dass im Luftkurorte Davos besonders der Winteraufenthalt den Brustleidenden äusserordentlich wohlthuend sei, obwohl er selbst dort in gut gelüfteten Zimmern die relative Feuchtigkeit zu nur 25 Procent der Sättigung gefunden. Gleiche Trockenheit der Luft habe er mitunter in seinem eigenen mit Warmluftheizung versehenen Hause beobachtet und daselbst nur 36 Procent als Mittel der Hygrometerstände im Januar berechnet. Er habe bei dieser trocknen Luft nicht die geringste Unannehmlichkeit gespürt, ja sich nie wohler befunden; eben so seine Familie, obwohl darunter eine brust- und nervenleidende Patientin sei.

Professor Herm. Fischer**) in Hannover sagt, die Frage über

---

*) G. Lasius, Professor am Eidgen. Polytechnikum. Warmluftheizung mit continuirlicher Feuerung. Zürich 1880. S. 8.

**) Handbuch der Architektur. Darmstadt 1881. 4. Band. S. 76.

den zweckmässigsten Feuchtigkeitsgehalt sei noch keineswegs als genügend geklärt anzusehen, man vermöge der Vielseitigkeit der Ansichten nur zu entnehmen, dass der Feuchtigkeitsgehalt nicht unter 25 Procent und nicht über 75 Procent betragen soll.

Nach Dr. Ferd. Fischer*) in Hannover kann von zu trockener Luft überhaupt nicht die Rede sein. Er sagt bei Beschreibung der in seinem Hause ausgeführten Luftheizung:**) „Da keine Luftanfeuchtung stattfindet, so sinkt die Feuchtigkeit der Zimmerluft bis auf 20 Procent, ja auf 10 Procent, und ist trotzdem — oder in Folge dessen — sehr angenehm, so dass keine Luftanfeuchtung eingeführt wird.“

Dr. K. Möller***) in Brackwede sagt: Die Anfeuchtung der Luft wird durch die Filtration entbehrlich.

Solchen Urtheilen gegenüber erregt unser Interesse um so mehr eine im Sommer 1885 in Göttingen erschienene Schrift mit dem Titel:

„Gesunde Luft. Eine Abhandlung über die Feuchtigkeit der Luft als wichtigen Factor unseres Wohlbefindens. Nebst einem Vorwort über den Luftprüfer. Von Dr. E. Fleischer.“

Vorerst mag bemerkt werden, dass in dieser Schrift trotz ihres Haupttitels „Gesunde Luft“ nicht von Luftreinheit, nicht von Ermittlung der Kohlensäure, auch nicht von den flüchtigen organischen Exhalationsstoffen die Rede ist, sondern nur von Feuchtigkeit und Trockenheit und von einem Lambrecht'schen Hygrometer, welches eben als Luftprüfer empfohlen wird. Dass ein Feuchtigkeitsmesser zugleich ein Luftreinheits- oder Luftverschlechterungsmesser, ein Luftprüfer sei, ist jedoch nicht zu begründen versucht, lässt sich auch, wie in der ersten Abhandlung nachgewiesen ist, nicht wohl begründen.

Ueber den richtigen Feuchtigkeitsgrad sagt Dr. Fleischer, S. 20:

„Die stehende Regel sei, dass der Thaupunkt der Zimmerluft niemals 15° R. erreichen, sondern möglichst bei 10° oder niedriger liegen soll, und dass andererseits das Hygrometer im Zimmer nie weniger als 40 Procent und nie mehr als 80 Procent anzeige.“

Hiermit ist eine Doppelregel gegeben, die meines Erachtens unzweckmässig ist, weil sie für die Beobachtungen mehr Mühe und Zeit in Anspruch nimmt als eine einfache Regel, und zudem zwecklos; denn wenn beide Forderungen auf Eins hinauskommen, ist nur eine nöthig,

---

*) Dingler's Journal 1885. Band 258 S. 417.

**) Wagner's chem. Technologie, 12. Aufl. Bearbeitet von Dr. Ferd. Fischer in Hannover. Leipzig 1886 S. 1045.

***) Anlage zum „Gesundheits-Ingenieur“ 1887 No. 1.

verlangen oder gestatten aber beide Verschiedenes, so kann doch gleichzeitig nur eine davon massgebend sein.

Dr. Fleischer setzt richtig auseinander, dass bei dem Athmungsprocess für die Lunge lediglich die absolute, nicht aber die relative Feuchtigkeit in Frage kommt und die Luft von geringem Wassergehalt eine erwünschte grössere Abkühlung der Lunge hervorbringt, während in Bezug auf die Schleimhäute der Luftröhre und die Hautausdünstung die relative Feuchtigkeit von Wichtigkeit ist.

In der Fleischer'schen Doppelregel ist der Thaupunkt bezeichnet, weil die absolute Feuchtigkeit im Thaupunkt ihren Ausdruck findet, nämlich in derjenigen Temperatur, bei welcher die Luft von einem gewissen Wassergehalt gerade mit Feuchtigkeit gesättigt ist, auf welche sie sich also, wenn sie nicht schon mit Feuchtigkeit gesättigt ist, abkühlen muss, damit eine Sättigung mit Feuchtigkeit, der Beginn des Wasserniederschlags, das Entstehen von Thau erfolgt.

Benützen wir nun die Fleischer'sche Doppelregel unter der Voraussetzung der angenehmen Zimmertemperatur von 15 oder 16° R., wobei die Maximalfeuchtigkeit oder Sättigungsmenge der Luft 16 und beziehungsweise etwas über 17 Gramm im Kubikmeter wäre. Soll der Thaupunkt möglichst bei 10° R. oder niedriger liegen, so darf die Luft höchstens 11 Gramm Wasser im Kubikmeter enthalten. Zugleich ist im Allgemeinen eine relative Feuchtigkeit von 40 bis 80% zugelassen, das wäre bei 15 oder 16° R. gleichbedeutend mit einer absoluten Feuchtigkeit von ungefähr 6,4 bis 12,8 und beziehungsweise 7 bis fast 14 Gramm Wasser im Kubikmeter Luft. Der ersten Forderung wird also im letzten Falle nicht entsprochen, wohl aber, wenn wir die relative Feuchtigkeit von 40 bis 60 Procent als die richtige annehmen, oder auch, wenn die Zimmertemperatur unter 13° R. ist; nur bei so kühler Zimmerluft übersteigt mit 80% relativer Feuchtigkeit die absolute nicht 11 Gramm Wasser in einem Kubikmeter Luft. Es gibt aber wenig Personen, die sich bei ruhigem Verweilen in Luft von weniger als 13° behaglich fühlen und nicht, soweit sie darüber verfügen können, dafür sorgen, dass die Lufttemperatur sich auf 15 bis 16° erhöht, wenn nicht etwa der Fussboden und die Wände aussergewöhnlich gut erwärmt sind. Und auch bei niederer Lufttemperatur in wärmerer Umgebung wird eine relative Feuchtigkeit von 70 bis 80% nicht anzurathen, sondern besser eine solche zwischen 40 und 60% einzuhalten sein.

Die Einhaltung dieser Grenzen für die relative Feuchtigkeit der Zimmerluft, und zwar ohne Rücksicht auf die absolute Feuchtigkeit — weil die Ansprüche bezüglich der Temperatur doch nicht sehr verschieden

sind — habe ich meines Wissens zuerst als Regel aufgestellt, nachdem ich mich durch viele Beobachtungen überzeugt hatte, dass etwa halbe Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit, wie die meisten Physiologen und Aerzte annehmen, wünschenswerth ist, jedoch Abweichungen bis 10 % vom Mittel nach jeder Seite hin gut zulässig sind.

Professor Rietschel in Berlin bezeichnet nach seinen zahlreichen Erhebungen übereinstimmend mit mir einen jeweiligen Feuchtigkeitsgrad von 40 bis 60 Procent der absoluten Sättigung als den gewöhnlich geforderten.*)

In demselben Sinne äussert sich Baurath Paul**) in Wien.

Professor Winter***) in Augsburg bezeichnet Luft zwischen 40 und 70 % relativer Feuchtigkeit als zuträglichste für die meisten Menschen.

Erismann†) sagt, dass der Mensch sich am wohlsten fühlt, wenn die relative Feuchtigkeit der Wohnungsluft zwischen 55 und 65 Procent beträgt, ferner dass die Begriffe der relativen Feuchtigkeit und des Sättigungs-Deficits von grosser Bedeutung für die Gesundheitslehre sind, sowie dass die Zimmerluft durch die Heizung nicht allzusehr ausgetrocknet werden soll und dass Luft von 28 Procent relativer Feuchtigkeit viel zu trocken sei, desshalb jedenfalls bei der Luftheizung für Befeuchtung der Luft gesorgt werden müsse.

Manche wollen 50 bis 70 % eingehalten haben, Andere noch höhere Feuchtigkeitsgrade.

Professor Dr. v. Vivenot††) in Wien nennt Luft mit weniger als 55 % relativem Wassergehalt sehr trocken, von 56—70 % mässig trocken, von 71 bis 85 % mässig feucht, über 86 % sehr feucht.

Professor Dr. Landois†††) sagt: „Erfahrungsgemäss ist es den meisten Menschen am wohlsten in einer Luft zu athmen, die nicht völlig ihrer Temperatur entsprechend mit Wasserdampf gesättigt ist, sondern nur zu 70 Procent.“

---

*) Herm. Rietschel, Professor der Techn. Hochschule zu Berlin. Lüftung und Heizung von Schulen. Berlin 1886 S. 21.

**) Friedr. Paul, Baurath des Wiener Stadtbauamts. Lehrbuch der Heiz- und Lüftungstechnik. Wien 1885 S. 331.

***) Wilhelm Winter. Lehrbuch der Physik. München 1886.

†) Dr. Friedr. Erismann, Prof. der Hygiene an der Universität Moskau. Gesundheitslehre. 3. Aufl. München 1885. S. 10, 134, 149, 154, 155.

††) Dr. F. Toselowski, Schulhygiene. Berlin 1883 S. 81. — Ein kleines Buch, welches über Luftheizung viel Unrichtiges enthält.

†††) Dr. L. Landois, Professor der Universität Greifswald. Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Wien und Leipzig 1887. S. 236.

Dr Herm. Reinhard*) nimmt als zulässiges Mindestmass der Feuchtigkeit einer Luft 50 Procent an.

Diese Verschiedenheiten der Ansichten und Angaben mögen theils aus dem Mangel an Uebereinstimmung der Hygrometer, theils auch aus der Verschiedenheit des individuellen Empfindens zu erklären sein.

Ueber die Verschiedenheit des individuellen Empfindens habe ich im eignen Hause viele und interessante Beobachtungen gemacht, da ich zufällig eine Frau habe, deren Urtheil über den angenehmen Hygrometerstand gar häufig mit dem meinigen nicht übereinstimmt, was damit zusammenhängen mag, dass meine Frau sehr wenig transpirirt, während bei mir das Gegentheil der Fall ist. Ich mache seit ungefähr zwanzig Jahren Hygrometerbeobachtungen in meinen Zimmern, und zwar mit verschiedenen häufig controlirten Hygrometern. Dabei fand ich immer, dass mir selbst die Zimmerluft nicht leicht zu trocken werden kann, aber leicht zu feucht. Ich bekomme kein Gefühl von Unbehagen, wenn das Hygrometer weit weniger als 40 Procent zeigt, aber eine Feuchtigkeit über 60 Procent wird mir unangenehm, über 70 Procent lästig, über 80 Procent fast unerträglich, während auf meine Frau die Luft von so hohen Feuchtigkeitsgraden angenehm, die mit weniger als 40 Procent relativer Feuchtigkeit belästigend wirkt. Sie fühlt diese Grenze, ohne auf das Hygrometer zu sehen; auch wenn ich, was ich zuweilen that, zur Probe ihres Urtheils den Hygrometerfaden bei trockner Luft um 10 oder 15 Procent zu feucht stellte, blieb sie bei ihrer richtigen Behauptung, die Luft sei zu trocken, wenn auch das Hygrometer „Normal“ zeige; das werde eben falsch zeigen. Nur zwischen 40 und 60 Procent stimmen unsere Empfindungen, dass die Luft den richtigen Feuchtigkeitsgehalt habe, überein. Auch sonst im Kreise meiner Familie und bei Bekannten fand ich Verschiedenheiten der Empfindung, jedoch übereinstimmende Befriedigung zwischen 40 und 60 Procent.

Ich glaube daher, es entspricht den verschiedenen Körperconstitutionen am gleichmässigsten, wenn die relative Feuchtigkeit der Zimmerluft zwischen diesen Grenzen erhalten wird, und das ist wohl auch das Natürlichste.

Es ist ein Erforderniss unseres Wohlbefindens, dass wir fortwährend durch Haut und Lungen Wasser ausscheiden, aber das darf weder zu viel noch zu wenig sein, und desshalb wird die etwa zur Hälfte mit Feuchtigkeit gesättigte Luft, welche dem Körper weder eine zu grosse Wassermenge entzieht, noch eine zu geringe von ihm hinwegführt —

*) Archiv für Hygiene, I. Bd. 1, S. 333.

welche also die regelmässige Abdunstung von der Oberfläche des Körpers und damit die Entwärmung weder zu sehr beschleunigt noch hemmt, das Wärmegleichgewicht nicht stört — die für Erhaltung der Gesundheit und Behaglichkeit am besten geeignete sein.

Die von einem Erwachsenen in einer Stunde im Zustand der Ruhe und bei normalem Stoffwechsel durch Respiration und Perspiration ausgeschiedene Wassermenge beträgt durchschnittlich ungefähr 50 Gramm. Dieses Wasser soll von der den Körper umgebenden Luft aufgenommen und weggeführt werden. Grosse Luftfeuchtigkeit verursacht durch Hemmung der nothwendigen Ausdünstung und damit der Wärmeabgabe des Körpers bei den meisten Menschen, und zwar vermuthlich um so mehr, je mehr sie zum Transpiriren geneigt sind, bei warmer Luft ein drückendes, beängstigendes Gefühl von Schwüle, und auch bei kühler Luft ein unbehagliches Gefühl von Beklemmung. Sehr trockene Luft dagegen reizt die Schleimhäute des Athmungsorgans, welche Wirkung man wohl zuweilen, wie Regnault*), F. Fischer**), Fodor***) u. A. nachgewiesen haben, jedoch nicht immer, den Producten der trockenen Destillation zuschreiben kann, die bei mangelhaften Heizanlagen an den heissen Ofenwänden aus dem auf diesen abgelagerten Staub entwickelt werden; sie verursacht ferner durch Beschleunigung der Wasserverdunstung an unserem Körper auch bei normaler Zimmertemperatur ein Gefühl des Fröstelns und damit das Bedürfniss, die Zimmertemperatur durch stärkeres Heizen übermässig zu erhöhen, was dann noch grössere relative Trockenheit und andere Nachtheile im Gefolge hat, bei manchen Menschen beschwerliches Athmen und ein unangenehmes beengendes Gefühl, Schlaffheit, Kopfweh u. dgl., ferner Schwinden und Reissen von Möbeln, Thüren, Wandvertäfelungen u. s. w. Immerhin ist es rathsam, die Zimmerluft eher zu trocken als zu feucht zu erhalten, weil manche Gegenstände durch Feuchtigkeit, Rostbildung u. dgl. verdorben werden und die Feuchtigkeit der Wände das Anhaften von organischen Ausscheidungen, Staub und Mikroorganismen und den Uebergang in Fäulniss begünstigt. Besonders schlimm treten an feuchten Wänden solche Stellen auf, welche nicht gehörig von der Luft bestrichen werden können. Man soll desshalb, wenn man gezwungen ist in einem neuen Hause zu wohnen, Bilder und Spiegel, um Schimmelbildung an und hinter diesen zu verhüten, durch vier an den Ecken aufgenagelte Korkstückchen oder dgl. in einigem

*) Dingler's Journal 1865. Band 177, Seite 408.
**) Dingler's Journal 1880. Band 235, Seite 442.
***) Deutsche Vierteljahrsschrift f. öffentl. Gesundheitspflege 1882 S. 118.

Abstand von den Wänden halten, auch andere Gegenstände nicht ganz dicht an die Wände stellen. Dass Räume, welche wegen Nässe der Wände und des Bodens zu feucht sind, auch nachtheilig auf die Gesundheit der Bewohner wirken, ist wohl hinlänglich bekannt. Aber es wird nicht immer an die Nachtheile gedacht, sondern die Zimmerluft oft übermässig befeuchtet.

Es wird behauptet, man dürfe dem zulässigen Feuchtigkeitsgehalt der Zimmerluft sehr weite Grenzen setzen, da man ja im Freien Schwankungen von 20 bis 100 Procent ohne Belästigung und Nachtheil ertrage. Diese Begründung ist nicht richtig. Auch im Freien behagt uns weder die trockene Luft, die wir gewöhnlich bei Nord- und Ostwind haben, noch die feuchte schwüle Luft, welche uns in der Regel ein Gewitter vorausfühlen lässt, noch auch die warme oder kalte feuchte Luft bei lang andauerndem Regenwetter. Uebrigens ist eine hohe relative Feuchtigkeit im Freien bei weitem nicht so lästig wie im Zimmer, weil im Freien die bewegte Luft rasch die Perspirationsproducte hinwegführt, welche in der ruhigeren Zimmerluft den Körper länger umgeben und so die normale Wasserausscheidung hemmen.

Zweiter Theil.

Neuere Feuchtigkeitsprüfer.

Wenn es Bedingung für das menschliche Wohlbefinden ist, dass die Feuchtigkeit der Zimmerluft in bestimmten Grenzen erhalten werde, so sind Feuchtigkeitsprüfer, Hygrometer und auch Hygroskope, für die Benützung in Zimmern nicht weniger wichtig als für meteorologische Beobachtungen, wofür sie bisher vorzugsweise gebraucht wurden. Dem über solche Vorrichtungen und Instrumente in den Paragraphen 59 bis 62 ds. Bs. Gesagten ist jetzt Einiges beizufügen.

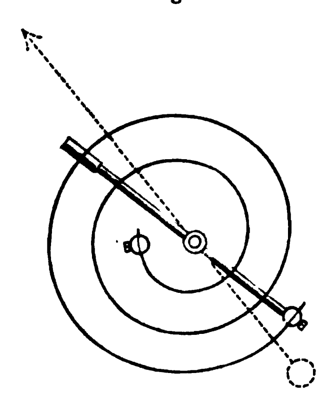
In § 60 ist von sogenannten Wunderbildern die Rede, Farbenhygroskopen, die man mit Kobaltchlorür herstellen kann. Derartige Farbenhygroskope werden jetzt als Glastransparente fabrikmässig angefertigt und unter dem Namen Chamäleon-Wetterbilder*) verkauft. Es ist eine hübsche Anwendung des erwähnten Princips, doch passt der

*) Deutsches Reichspatent No. 28520 von Wilhelm Rückert in Liebenwalde. Verbindungen von Gelatine mit Chlorkobalt, Chlorkupfer und salpetersaurem Nickeloxydul, um den Feuchtigkeitsgehalt der Luft anzuzeigen.

Name für vorliegenden Zweck nicht gut, passender wäre Bildhygroskop. Das Firmament oder andere Theile des Bildes, z. B. einer Landschaft, werden in feuchter Luft roth oder farblos, in trockner Luft blau oder grün oder gelb. Dazwischen ergeben sich verschiedene Uebergangsfarben, und man findet bald heraus, welche Farbe das Bild zeigen muss, wenn die Zimmerluft den gewünschten Feuchtigkeitsgrad hat.

Auch das, was ich in § 61 über das Material von Hygrometerfäden sagte: dass es mir zwar noch nicht gelungen sei, dauerhaft hygroskopische Fäden mit den nöthigen Eigenschaften durch Zusammenkleben von hygroskopischen und nicht hygroskopischen Streifen herzustellen, was aber immerhin möglich sein dürfte — hat inzwischen gelungene Anwendungen gefunden, zuerst in dem „Metall-Spiral-Hygroskop", auch Eihaut-Hygroskop genannt, auf welches O. Mithoff in Berlin ein Patent erhalten hat. Schalen von Gänse- oder Hühnereiern werden mit Salzsäure behandelt, die übrig bleibende Haut wird in Seifenwasser, reinem Wasser, dann in Alkohol gewaschen, schliesslich mittels einer Lösung von Federharz in Benzin auf einer Metallspirale befestigt. Bei Veränderung der Luftfeuchtigkeit ändert sich die Länge der Haut, und die Spirale rollt sich infolge dessen weiter auf, beziehungsweise mehr zusammen. Diese Bewegung wird bei der ursprünglichen Anfertigungsweise durch einen hinter der Skalaplatte angebrachten Mechanismus (Fig. 8) auf einen Zeiger übertragen, welcher von 0 bis 100, d. h. von der vollständigen Trockenheit bis zur Maximalfeuchtigkeit, eine volle Kreisskala durchläuft.

Fig. 8.



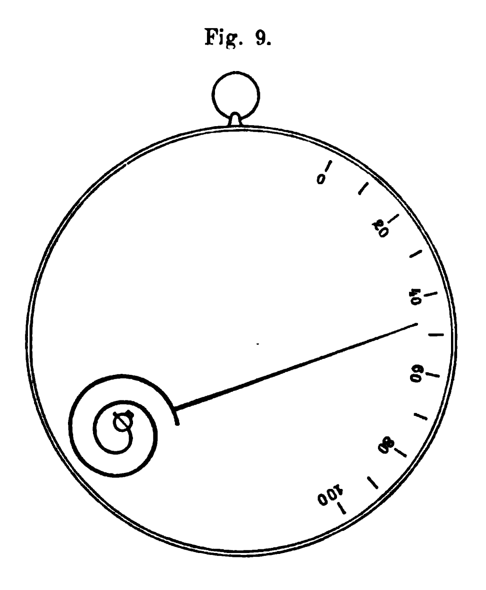
Bei der neueren Anfertigungsweise (Fig. 9) ist die Spirale kleiner, auf der Skalaplatte sichtbar, am inneren Ende darauf befestigt und trägt am äusseren Ende einen leichten Zeiger, dessen Spitze sich über einer kleinen, aber für den beabsichtigten Zweck genügend grossen Bogenskala hinbewegt.

Weil die Temperatur unmittelbar auf die Länge der Metallspirale einen solchen Einfluss hat, dass die gleichmässig getheilte Skala nicht für alle Temperaturen richtig sein wird, ist eine „Tabelle zur Elimination der Temperatur" beigegeben, auf welcher jedesmal nach einer Ablesung auf dem Hygroskop die richtige relative Feuchtigkeit aufge-

sucht werden soll. Das ist umständlich, und die Resultate sind doch meistens nicht richtig. Man mag sich also mit der unmittelbaren Ablesung begnügen und sich die Zeigerstände für die Grenzen der richtigen Luftfeuchtigkeit bei angenehmer Zimmertemperatur ein für allemal suchen und merken. Das Instrument soll ja auch nach dem ihm vom Erfinder gegebenen Namen kein Hygrometer sein, sondern ein Hygroskop.

Ein solches Mithoff'sches Metall-Spiral-Hygroskop, nach der älteren Construction angefertigt und zwar als eines der ersten, bezog ich direct vom Erfinder; es zeigt jetzt, wie auch schon zu Anfang, immer viel zu feucht, ist aber noch sehr empfindlich und wird demnach voraussichtlich sich in langer Zeit nicht viel verändern.

Fig. 9.



Auf gleichem Princip, wie diese Hygroskope und mein Strohhygrometer (S. 160 ds. Bs.) beruht A. Nodon's Hygrometer mit Schreibwerk.*) Der wesentliche Bestandtheil ist ein schraubenförmig gewundener Papierstreifen, dessen äussere Seite mit Gelatine überzogen ist, die man vorher durch einen Zusatz von Salicylsäure unveränderlich gemacht hat. Bei zunehmender Feuchtigkeit ziehen sich wegen der überwiegend hygroskopischen Natur der Gelatine die Windungen zusammen, bei abnehmender dehnen sie sich aus. Solche paarweise mit einander verbundene Streifen bewegen einen über zwei Röllchen laufenden Faden, woran eine Feder befestigt ist, welche zwischen zwei Führungen laufend auf einem eingetheilten Papierbogen mit Tinte einen Strich zieht. Da sich das Papier mit einer Geschwindigkeit von 2 Centimeter in der Stunde senkrecht zur Richtung der Feder fortbewegt, so erhält man als Ergebniss beider Bewegungen eine Curve, welche den hygrometrischen Zustand der Luft zeichnerisch darstellt. Die Gangdauer des Triebwerks ist auf 10 Tage berechnet.

*) Dingler's Journal, 1886, Band 262, Seite 485, nach den Comptes rendus, 1886, Band 102, Seite 1371.

Der Werth dieser Neuerung ist jedenfalls nicht so bedeutend als man glauben könnte, wenn man im Anschluss an die Beschreibnng liest:

„Aus zahlreichen Beobachtungen haben sich folgende Sätze ergeben: 1) die Winkel, um welche die gelatinirten Streifen sich drehen, sind den hygrometerischen Zuständen der umgebenden Luft proportional. 2) Die Temperatur hat innerhalb 10° und 35° auf die Anzeigen des Hygrometers keinen Einfluss. 3) Der Apparat arbeitet unveränderlich gleichmässig. 4) Das Hygrometer setzt sich binnen 1 Minute mit dem umgebenden Mittel in's hygrometrische Gleichgewicht. 5) Durch Vermehrung der schraubenförmigen Streifen lässt sich die Empfindlichkeit des Instruments beliebig erhöhen."

Ich erlaube mir einige Bemerkungen beizufügen. Nach der auch für dieses Instrument geltenden „Theorie des Procent-Hygrometers" (§ 61 ds. Bs.) ist Satz 1 nicht genau richtig, aber praktisch zulässig. Die Richtigkeit von Satz 2 bezweifle ich nicht, wohl aber die von Satz 3. Ich vermuthe auf Grund meiner schon vor vielen Jahren mit ähnlichen Vorrichtungen und Materialien angestellten Versuche, dass die Form der gelatinirten Papierstreifen sich mit der Zeit ändert und namentlich rasch jedesmal, wenn das Instrument einige Zeit einer mit Feuchtigkeit gesättigten Luft ausgesetzt ist. Mit Satz 4 ist jedenfalls zu viel behauptet. Bei grossen hygrometrischen Unterschieden wird zwar die Empfindlichkeit als eine sehr hohe erscheinen, die Bewegung sehr rasch erfolgen, aber doch nicht sofort bis zum richtigen Punkte; es wird, wenn man z. B. das Hygrometer aus feuchter Aussenluft in verhältnissmässig trockene Luft eines geheizten Zimmers bringt oder umgekehrt aus trockener Luft in feuchte, nicht 1 Minute, sondern 10 und 20 Minuten dauern, bis sich die Nachwirkungen des früheren Zustandes verlieren. Auch sind die Bewegungswiderstände nicht ohne nachtheiligen Einfluss. Jeder Mechanismus und jede Belastung muss bei so zarten Instrumenten störend auftreten. Am besten ist es daher offenbar, wenn das freie Ende des hygroskopischen Streifens selbst den Zeiger bildet. In Bezug auf Satz 5 wird dasselbe gelten, was ich schon lange gegen die Anwendung mehrerer Haare bei Haarhygrometern gesagt habe.*) Es ist kaum möglich mehrere Streifen so genau in gleicher Weise mit dem Mechanismus zu verbinden, dass sie auf diesen immer gleichzeitig und gleichheitlich wirken. Daher folgt aus der Vermehrung der schraubenförmigen Streifen Verminderung der Zuverlässigkeit.

---

*) Wolpert, Anhang zu Staebe's Preisschrift über Ventilationssysteme. Berlin 1878. S. 113.

Noch weniger zweckmässig als der Haarbüschel in den Klinkerfues'schen Hygrometern ist ein Geflecht aus 6 bis 12 Haaren, wie es bei den Hygrometern von Franz Schubert in Meran als hygroskopische Substanz angewendet ist. Als Fehlerquelle muss hierbei der Umstand noch mehr hervortreten, dass zuerst einige Haare stark, andere gar nicht gespannt sind und nach einiger Zeit die ersteren sich so verlängert haben, dass andere an die Reihe kommen, um mit jenen zu functioniren, wobei die ursprüngliche Skala nicht mehr richtig sein kann. Ferner ist im Zustande der Spannung durch das vielfach dichte Aneinanderliegen der geflochtenen Haare, wenn auch das Geflecht selbst ein loses ist, die Berührung der Luft mit den einzelnen Haaren und damit die Empfindlichkeit vermindert.

Die Schubert'schen Hygrometer sind für 20 bis 60 Gulden östr. zu haben und zwar in länglicher Form, als Zimmerhygrometer bezeichnet, und in Dosenform, auch für meteorologische und technische Zwecke bestimmt.

Bei den länglichen Zimmerhygrometern ist das Haargeflecht unten befestigt und oben über eine Rolle mit einer Art Excentrik geführt, wodurch die Zeigerdrehung für die geringere Verlängerung der Haare bei den höheren Feuchtigkeitsgraden eine verhältnissmässig grössere und folglich die richtige Skala der relativen Feuchtigkeit eine gleichmässig getheilte werden soll. Bei dem Dosenhygrometer geht das Haargeflecht noch ausserdem über vier Rollen und die Luftöffnungen sind zu klein. Die Empfindlichkeit des Instruments kann bei solcher Einrichtung nicht gross sein, ich habe sie in der That sehr gering gefunden, übrigens auch gering bei dem Zimmerhygrometer mit geradgestrecktem Geflecht und mehr durchbrochenem Gehäuse.

Die Angaben des von mir benützten Zimmerhygrometers sind in der Nähe von 50% ziemlich richtig; gegen 0 hin sind sie zu hoch, gegen 100 hin zu nieder, was indessen für Beobachtungen in Zimmern, wo man eine ungefähr mittlere relative Feuchtigkeit zu erhalten suchen soll, kein erheblicher Mangel ist.

Ueber die Zuverlässigkeit der Hygrometer im Allgemeinen, auch der von gleichem Material und gleicher Anfertigungsweise, muss ich nach meinen Beobachtungen dasselbe Urtheil fällen, welches Rietschel*) inbetreff der Haarhygrometer abgegeben hat: Differenzen von 5% der absoluten Sättigung zwischen den Angaben mehrerer Hygrometer muss man sich gefallen lassen.

---

*) Professor Herm. Rietschel. Lüftung und Heizung in Schulen, Berlin 1886. S. 21.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich jedoch darauf aufmerksam machen, dass an verschiedenen Stellen eines Zimmers die relative Feuchtigkeit auch sehr verschieden sein kann und dass ferner bei Hygrometern mit organischen Fäden die Verschiedenheit der Angaben oft eine dauernde Nachwirkung eines früheren Zustandes ist, weshalb bei Anwendung solcher Hygrometer dringend empfohlen werden muss, sie durch Sättigung des Fadens mit Feuchtigkeit zuweilen und namentlich vor wichtigen Beobachtungen zu regeneriren. (S. 146 und 162 ds. Bs.)

Ein Beispiel von der möglichen grossen Verschiedenheit der relativen Feuchtigkeit in den verschiedenen Höhen eines Raumes führte ich bei einem Vortrag im hiesigen hygienischen Verein am 16. December 1885 mit einem Bandhygroskop vor. Ein acht Meter langes mit Kobaltchlorür getränktes Baumwollband liess ich an der Fensterwand des stark besetzten und reichlich mit Gas beleuchteten Saales doppelt von der Decke bis zum Boden reichen. Es hatte anfänglich eine Mischfarbe zwischen blau und roth, normaler Feuchtigkeit entsprechend. Alsbald erschien es aber oben blau gefärbt, unten dagegen roth, ein Beweis, dass die relative Feuchtigkeit im Saale nicht eine gleichmässige, sondern oben sehr gering, unten sehr gross war. Darüber wunderte man sich begreiflicherweise allgemein.

Man soll desshalb das Hygrometer ungefähr in Kopfhöhe und nicht an einer besonders warmen oder kalten Wand anbringen, es am besten in der Mitte des Zimmers, etwa unter einer Gas- oder Hängelampe aufhängen.

Von Interesse wird es sein, wenn ich hier noch beifüge, dass der auf Seite 1005 unter den Vorrichtungen zur Bestimmung des Kohlensäuregehalts der Zimmerluft genannte und dargestellte Absorptions- und Messapparat von Rüdorff in gleicher Weise auch zur Ermittlung der Luftfeuchtigkeit dient, indem man die Bürette anstatt mit Kalilauge mit concentrirter Schwefelsäure füllt, welche man dann tropfenweise in die Flasche eintreten lässt, bis die Manometerflüssigkeit in beiden Schenkeln dauernd gleich hoch steht. Die Schwefelsäure absorbirt den Wasserdampf wie die Kalilauge die Kohlensäure. Das an der Bürette abgelesene Volumen der eingeflossenen Schwefelsäure ist daher gleich dem auf den jeweiligen Barometerstand bezogenen Volumen des absorbirten Wasserdampfs.*) Das trifft zu, wenn während der Dauer des Versuchs Tem-

*) Dr. Breslauer, Vorsteher des Städtisch-chemischen Untersuchungs-Amtes zu Brandenburg a. H. Chemische Untersuchung der Luft für hygienische Zwecke. Berlin 1885. S. 22. (Nach den Berichten der Deutsch. chem. Gesellsch. zu Berlin, 13, 149 und Fresenius, Zeitschr. f. analytische Chemie Jahrg. 19, 1880, S. 338.)

peraturänderungen der Luft in der Flasche vermieden werden. Da solche aber leider bei aller Vorsicht kaum zu vermeiden sind, werden die Untersuchungsergebnisse leicht zu ungenau.

Dritter Theil.

Mittel zur Erhaltung des gewünschten Feuchtigkeitsgrades der Zimmerluft.

Luftbefeuchtungs-Apparate sind in § 275 ds. Bs. angegeben. Die auf Seite 914 dargestellte Luftbefeuchtungs-Rosette suchte ich mit Beibehaltung der daselbst gegebenen Theorie so zu verändern, dass die vom Ofen aufsteigende Luft von der nassen Fläche aufgefangen wird und etwas abgekühlt am unteren Rande der Auffangfläche abfliesst, wodurch der Verdunstungs-Apparat zugleich zu einem Wärmevertheiler wird. Ich suchte das zuerst mit einer aus Baumwolle gestrickten Glocke zu erreichen.*) Doch war es etwas schwierig, solche Glocken in schöner Form anzufertigen. Auch wurde der Nebenzweck der Wärmevertheilung wenig erreicht, weil viel Luft durch die Strickmaschen hindurchging.

Mein wärmevertheilender Verdunstungsschirm, welcher nach diesen Erwägungen entstand, ist bereits einer Anzahl von Technikern durch meinen am 26. August 1884 bei der Generalversammlung Deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine in Stuttgart gehaltenen Vortrag über die Prüfung und Verbesserung der Luft bekannt geworden.**)

Wie bei der Verdunstungs-Rosette wird ein weitbauchiges Wassergefäss, entweder auf einem lampenfussähnlichen Stativ befestigt, als Vase über dem Ofen aufgestellt (Fig. 10), oder als Ampel darüber aufgehängt (Fig. 11). In Fig. 11 ist die Aufhängeweise für den Fall angedeutet, dass nicht gerade über dem Ofen ein Balken hinläuft. Auf der Vase oder Ampel liegt ein Schirmgestell von starkem Messingdraht, bedeckt mit Baumwollstoff, welcher das Wasser gut ansaugt, am besten Filzpiqué, wovon ein Stück im Gefäss liegt. Bei gefülltem Wassergefäss ist der Schirm nass und der darunter aufgefangene Luftstrom bringt eine reichliche Wassermenge zur Verdunstung.

Solche Verdunstungsschirme können nach folgenden Angaben leicht

---

*) Deutsche Bauzeitung 1881. S. 393.

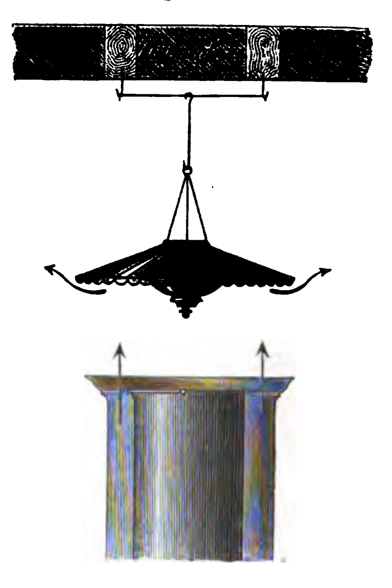
**) Centralblatt für allgemeine Gesundheitspflege. Bonn 1885. S. 16.

angefertigt, beziehungsweise zusammengestellt werden.*) Auf S. 914 habe ich gesagt, die Gefässe sollen von Glas sein, damit man den Wasserstand darin leicht erkennt. Man kann Fischgläser von geeigneter Form dazu verwenden. Da es aber öfters vorgekommen ist, dass bei unvorsichtigem Einfüllen von kaltem Wasser in das warme Glas dieses einen Sprung bekam, der es unbrauchbar machte, und da auch am Schirm selbst erkannt werden kann, ob er nass ist, also noch Wasser

Fig. 10.



Fig. 11.



aus dem Gefässe saugt, so mögen dauerhafte Metallgefässe in Ampel- oder Vasenform vorgezogen werden.

Das Schirmgestell (Figur 12 Seitenansicht, Figur 13 Ansicht von oben) kann jeder Blechschmied anfertigen. Der obere Drahtring ist der Weite des Gefässrandes anzupassen, der Durchmesser des unteren wird nach der gewünschten Grösse des Schirms angenommen, je nach der Zimmergrösse zu 40 bis 60 Centimeter. Die geraden Verbindungsdrähte (Rippen) werden oben und unten umgeschlagen und verlöthet. Die Neigung ist beliebig, starke Neigung ist nicht zweckwidrig, doch wird bei flacher Schirmform der Apparat schöner und die wohl von Frauenhänden auszuführende Arbeit der Herstellung der Zeugdecke einfacher. Ich empfehle nach verschiedenen Versuchen das Neigungsverhältniss 1 : 4, also z. B. 5 Centimeter Erhebung auf 20 Centimeter horizontal gemessener Länge für die Aufzeichnung der geraden Drahtstücke.

*) Fertige Verdunstungsschirme, sowie auch geeignete Glasgefässe allein, sind erhältlich bei G. C. Hammon, Niederlage von Artikeln zur Krankenpflege, am Hauptmarkt in Nürnberg.

Die als Kreisfläche ausgeschnittene Schirmdecke lässt sich dann, zwischen den Drahtstäben etwas eingedrückt, ohne Falte auflegen. Bei steilerer Form des Gestells müsste, um die Decke entsprechend konisch zu gestalten, ein Kreisausschnitt weggenommen und die entsprechende Naht gemacht werden.

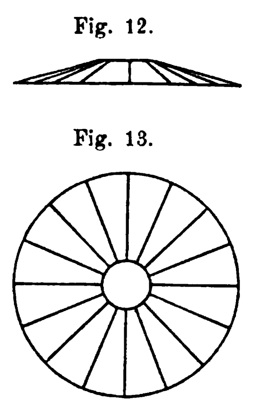


Fig. 12.

Fig. 13.

Die Drahtstäbe theilt man auf dem unteren Ring auf gleiche Entfernungen ein, und zwar bei einem Ring von 60 Centimeter Durchmesser auf ungefähr 10 Centimeter, bei kleineren Schirmen auf verhältnissmässig kleinere Entfernungen. Diesen Entfernungen angepasst wird der Filzpiqué-Stoff rings herum mit abgerundeten Zacken ausgeschnitten und mit schmalem Baumwollband eingefasst.

Für einen Schirmdurchmesser von 60 Centimeter reicht die gewöhnliche Breite des Stoffes bei gleicher Länge gerade aus, um das Ganze aus einem Stück zu schneiden. In der Mitte wird nach dem Mass der Gefässöffnung ein Kreuzschnitt gemacht und durch Annähen einiger aussen abgefallenen Eckstücke ein Sack gebildet, welcher auf den Boden des Gefässes reicht.

Dass man einen solchen Sack anwendet, in welchen man das Wasser giesst, ist bei Glasgefässen desshalb wichtig, damit das kalte Wasser nicht unmittelbar auf das warme Glas kommt.

In einfachster Weise erreicht man Luftbefeuchtung durch das Aufhängen grosser nasser Tücher; doch wird dem häufig das Schönheitsgefühl entgegen stehen.

Eine einfache Vorrichtung, welche den Feuchtigkeitsgehalt der Zimmerluft innerhalb ziemlich weiter Grenzen nach Belieben zu regeln gestattet, ist der neuerlich von Heinr. Wolpert construirte „Verdunstungs-Rollhang.“ In einer langen, schmalen, über dem Ofen anzubringenden Wasserwanne wird eine mittelst einer Schnur drehbare Walze befestigt, um die ein langes Stück Filzpiqué gewickelt ist, welches vor dem Rande der Wanne auf einer zweiten Rolle leicht gleitend aufliegt und von da herabhängt. Damit der Rollhang in ganzer Breite feucht bleibt, ist das untere Ende bogenförmig ausgeschnitten, so dass sich zwei seitliche Ablaufspitzen bilden. An diese sind Bänder genäht, welche das ablaufende Wasser geräuschlos in ein auf dem Boden stehendes Gefäss führen.

Als Luftbefeuchtungsapparate und zugleich Ziergegenstände sind die

transportablen Zimmerfontänen zu empfehlen, wie sie — zum Theil als „Hygieia-Fontänen“ — von Heinrici in Zwickau, von Scheinert und Nobiling in Gotha und von Andern fabrizirt werden.

Solche Fontänen bezeichnet Dr. E. Fleischer in seiner oben genannten Schrift „Gesunde Luft“ Seite 16 als geeignet für die Trocknung der Luft, wenn man das in ihnen circulirende Wasser über Eis gehen liesse. Es ist wohl richtig, dass Brausen von sehr kaltem Wasser viel Feuchtigkeit aus der Luft niederschlagen, doch dürfte dieses Trocknungsmittel, wenn die Luft viel zu feucht ist, wenig nützen.

In § 280 ds. Bs. sind für die Trocknung zu feuchter Luft andere Mittel angegeben, welchen gegenwärtig nichts beizufügen ist. Uebrigens kommt es bei guter Lüftung und Heizung nicht leicht vor, dass die Zimmerluft zu feucht ist. Im Gegentheil: in den geheizten Räumen eines nicht mehr neuen und nicht durch aussergewöhnliche Ursachen feuchten Hauses wird die relative Feuchtigkeit bei dauernder Aussenkälte und trocknem Ostwind unter 40 Procent der Sättigung sinken, wenn besondere Luftbefeuchtung nicht stattfindet, und zwar sogar wenn absichtlich nur wenig gelüftet wird, viel mehr, wenn gut gelüftet wird.

Sonderbarer Weise begegnet man aber noch heute nicht selten der Meinung, zu welcher sich kürzlich in einer Privatmittheilung über die Leistungen eines Ofens ein Techniker bekannt hat, indem er mir schrieb, bei der Anwendung des Ofens sei nach vielfachen Messungen das Austrocknen der Zimmerluft nicht bemerkt worden, und das sei wohl die Folge des stattfindenden grösseren Luftwechsels! Diese irrthümliche Ansicht habe ich bereits in meinen „Principien der Ventilation und Luftheizung“ 1860, S. 245 widerlegt. Der erwähnte Umstand, reichlich feuchte Zimmerluft, ist gerade ein Beweis, dass der Luftwechsel gering, unter Umständen zu gering ist. Guter Luftwechsel im Verein mit Lufterwärmung ist ein vorzügliches Trocknungsmittel.

Vierte Abhandlung.

Die Formeln für Berechnung von Luftgeschwindigkeiten.

Für die Berechnung von Luftgeschwindigkeiten bei Heizungs- und Lüftungsanlagen ist es zulässig, von Spannungsänderungen abzusehen, mithin Luftmassen verschiedener Temperatur sich wie wasserförmige Flüssigkeiten von verschiedener Dichte vorzustellen. Dadurch werden die Entwicklungen anschaulicher und die Formeln in erwünschter Weise einfach.

Nach § 23 ds. Bs. ist die theoretische Ausflussgeschwindigkeit einer Flüssigkeit aus einem Behälter unter dem Druck einer H Meter hohen Säule derselben Flüssigkeit eben so gross wie die Fallgeschwindigkeit eines Körpers bei der Fallhöhe H Meter, nämlich

(1) . . . . $c = \sqrt{2\,g\,H}$ Meter in der Secunde, wobei $g = 9{,}81$ m ist.

Die Geschwindigkeit ist die gleiche, wenn der Ausfluss nicht nach unten, sondern seitlich oder wie bei einem Springbrunnen nach oben oder in irgend einer andern Richtung stattfindet, und sie kann offenbar, so lange für die Bewegung derselben Flüssigkeit der gleiche Druck wirksam ist, dadurch keine andere werden, dass dieser Druck ganz oder theilweise mittels eines Kolbens oder durch das Gewicht verschieden dichter Flüssigkeiten oder auf andere Weise ausgeübt wird, oder auch als Unterschied zwischen einem grösseren und einem kleineren entgegengesetzten Druck in der Richtung des Ausflusses oder Zuflusses auftritt, und die Geschwindigkeit kann in gleicher Weise an den Enden eines Leitungssystems wie innerhalb desselben berechnet werden, wenn es überall gleichen Querschnitt hat und Luft von gleicher Temperatur enthält. Andernfalls gilt die unmittelbar zu berechnende grösste Geschwindigkeit bei gleicher Lufttemperatur nur für die absolut kleinsten Querschnitte, bei ungleichen Lufttemperaturen für die relativ kleinsten Querschnitte, also dann bei gleich weiten Leitungen für diejenigen Strecken, welche von der wärmsten Luft durchströmt werden.

Man stellt daher, um die theoretische Geschwindigkeit an einer geeigneten Stelle des Luftleitungssystems zu finden, den sich ergebenden Ueberdruck durch das Gewicht einer Luftsäule von der Dichte der Luft an der betreffenden Stelle dar und setzt die Höhe dieser Luftsäule anstatt der Fallhöhe in die allgemeine Geschwindigkeitsformel des freien Falls ein.

Die gedachte Luftsäulenhöhe h ist als Ueberdruck-Höhe bei Luftströmungen durch Temperaturunterschiede kleiner als die Druckhöhe H, in welcher die ungleich warmen Luftsäulen einander gegenüber stehen, und sie wird wie bei anderer Druckweise gefunden, indem man den Ueberdruck auf die Flächeneinheit in Kilogramm mit dem gleichnamigen Gewicht der Kubikeinheit der betreffenden Luftmasse dividirt. Ist allgemein p Kilogramm der Ueberdruck auf 1 Quadratmeter, γ Kilogramm das Gewicht von 1 Kubikmeter der Luft an betreffender Stelle, so ist

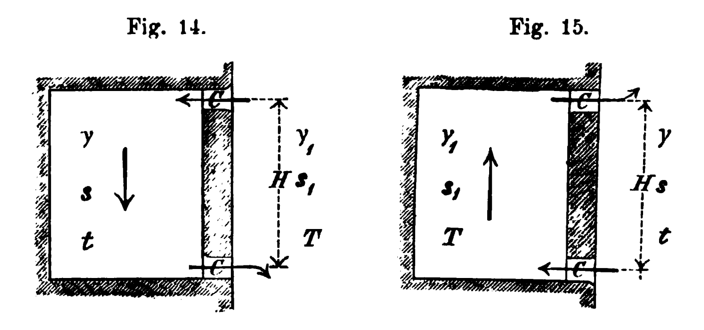
$$\gamma h = p \text{ als Ueberdruck,}$$

$$h = \frac{p}{\gamma} \text{ als Ueberdruckhöhe,}$$

$$(2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c = \sqrt{2 g h} = \sqrt{2 g \frac{p}{\gamma}} \text{ als Geschwindigkeit.}$$

Es handelt sich nun darum, in jedem besonderen Falle den Ueberdruck p richtig zu bestimmen.

Hat ein geschlossener Raum (Fig. 14 u. Fig. 15) zwei Oeffnungen, deren Grössen mit Rücksicht auf die anzunehmenden Temperaturen in



richtigem Verhältniss stehen (§ 70 ds. Bs.), liegt die Mitte der oberen Oeffnung H Meter über der Mitte der unteren und gelten die in den Figuren beigesetzten Bezeichnungen, ist also der Raum einmal bei einer Aussentemperatur T° mit kälterer Luft von t° gefüllt, während im andern Falle die Temperaturen vertauscht sind, so kann man nach § 81 ds. Bs. bei der Kleinheit der Oeffnungen und ihrem verhältniss-

mässig grossen Abstand jedesmal die vertikale Entfernung ihrer Mittelpunkte als die Druckhöhe annehmen, und der Ueberdruck ist

$$(3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad p = \gamma H - \gamma_1 H = H(\gamma - \gamma_1).$$

Die Ueberdruckhöhe, durch die kältere Luftsäule ausgedrückt, ist

$$(4) \quad . \quad . \quad . \quad h = \frac{p}{\gamma} = \frac{H(\gamma - \gamma_1)}{\gamma} = H\left(1 - \frac{\gamma_1}{\gamma}\right)$$

und durch die wärmere Luftsäule ausgedrückt:

$$(5) \quad . \quad . \quad . \quad h_1 = \frac{p}{\gamma_1} = \frac{H(\gamma - \gamma_1)}{\gamma_1} = H\left(\frac{\gamma}{\gamma_1} - 1\right).$$

Demnach ist die Geschwindigkeit, mit welcher die kalte Luft unten bei Fig. 14 ausfliesst, bei Fig. 15 einfliesst,

$$(6) \quad . \quad . \quad . \quad c = \sqrt{2gh} = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{\gamma_1}{\gamma}\right)}$$

und die Geschwindigkeit, mit welcher die warme Luft oben bei Fig. 14 einfliesst, bei Fig. 15 ausfliesst,

$$(7) \quad . \quad . \quad . \quad C = \sqrt{2gh_1} = \sqrt{2gH\left(\frac{\gamma}{\gamma_1} - 1\right)}.$$

Will man die specifischen Gewichte s und s_1 auf Luft von 0° als Einheit bezogen anwenden, so verhalten sich diese wie die specifischen Gewichte für Wasser = 1 oder wie die absoluten Gewichte gleicher Raummengen. Man kann also setzen:

$$\frac{\gamma_1}{\gamma} = \frac{s_1}{s} \text{ und } \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{s}{s_1}$$

$$(8) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c = \sqrt{2gH\left(1 - \frac{s_1}{s}\right)}$$

$$(9) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad C = \sqrt{2gH\left(\frac{s}{s_1} - 1\right)}.$$

Um die Lufttemperaturen einzuführen, hat man, da sich die Gewichte der Kubikeinheiten oder die specifischen Gewichte umgekehrt wie die alsoluten Temperaturen*) verhalten:

---

*) Auf Grundlage von § 49 und § 66 hat man, da sich die specifischen Gewichte umgekehrt wie die Volumen gleicher Gewichtsmengen verhalten:

$$s : s_1 = (1 + aT) : (1 + at)$$
$$s : s_1 = (1 + \tfrac{1}{273} T) : (1 + \tfrac{1}{273} t)$$
$$s : s_1 = (273 + T) : (273 + t).$$

$$1 - \frac{s_1}{s} = 1 - \frac{273 + t}{273 + T} = \frac{T - t}{273 + T}$$

$$\frac{s}{s_1} - 1 = \frac{273 + T}{273 + t} - 1 = \frac{T - t}{273 + t}$$

Durch Einsetzung dieser Werthe in (8) und (9) wird: als Geschwindigkeit der kälteren Luft

$$(10) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c = \sqrt{\frac{2\,gH(T-t)}{273 + T}}$$

und als Geschwindigkeit der wärmeren Luft

$$(11) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad C = \sqrt{\frac{2\,gH(T-t)}{273 + t}}$$

jedesmal unter dem Druck einer H Meter hohen Luftsäule von t° und dem Gegendruck einer gleich hohen Luftsäule von T°.

Die Formeln (8), (9), (10), (11) stimmen mit den in §§ 25, 27, 67, 68, 79 auf andere Weise ermittelten Formeln überein. Die der Kürze wegen dort gebrauchten Bezeichnungen wie: „Geschwindigkeit des Ausflusses der kalten Luft in wärmere" u. dgl. — geben im Zusammenhang und mit Rücksicht auf die figürlichen Darstellungen aufgefasst keine Veranlassung zu einem Irrthum. Da jedoch falsche Deutungen einzelner aus dem Zusammenhang gerissener Sätze und unrichtige Anwendungen vorgekommen sind, so mache ich darauf aufmerksam, dass man die besonderen Voraussetzungen in jedem Falle berücksichtigen möge. Wenn beispielsweise mässig erwärmte Ventilationsluft aus einer Heizkammer im Keller durch einen Mauerkanal nach einem noch besonders geheizten wärmeren Zimmer emporgeführt wird, so fliesst hierbei zwar kältere Luft in wärmere, es steht aber der ganzen warmen Luftsäule im Kanal und Zimmer eine eben so hohe äussere kalte Luftsäule gegenüber, durch deren Ueberdruck sie gehoben wird. Es gilt also die Formel für die Bewegung der wärmeren Luft, wenn man die Geschwindigkeit der Kanalluft berechnet und in diesem Kanal der relativ kleinste Querschnitt des Leitungssystems vorhanden ist. Hat aber die Luft im Steigkanal dieselbe Temperatur wie die Aussenluft, so ist an der nämlichen Stelle, dem relativ kleinsten Querschnitt, die Formel für die Bewegung der kälteren Luft gültig, es kommt aber für die theoretische Geschwindigkeit die Kanalhöhe nicht in Betracht, sondern nur die Höhe des warmen Raumes, eventuell nebst einem warmen Abzugsschacht, oder die Höhe des letzteren allein oder auch nur ein Theil derselben. Anders ist es bei der Berechnung der wirklichen Geschwindigkeit, wobei die

Bewegungswiderstände im kalten Kanal berücksichtigt werden müssen, wie weiterhin erörtert wird.

Bezeichnet man, wie üblich, die absoluten Temperaturen mit deutschen Buchstaben, setzt nämlich

$$273 + t = \mathfrak{t} \text{ und } 273 + T = \mathfrak{T},$$

so ergeben sich die Gleichungen (10) und (11) unter der Form

$$(12) \quad c = \sqrt{\frac{2\,gH(T-t)}{\mathfrak{T}}} \text{ oder auch } \sqrt{\frac{2\,gH(\mathfrak{T}-\mathfrak{t})}{\mathfrak{T}}}$$

$$(13) \quad C = \sqrt{\frac{2\,gH(T-t)}{\mathfrak{t}}} \text{ oder auch } \sqrt{\frac{2\,gH(\mathfrak{T}-\mathfrak{t})}{\mathfrak{t}}}$$

Die Geschwindigkeit c, obgleich kleiner als C, ist nur dann möglich, wenn die obere Oeffnung wenigstens im Verhältniss der Quadratwurzeln aus den absoluten Temperaturen grösser ist als die untere; denn die Dichten verhalten sich gerade umgekehrt wie die absoluten Temperaturen, die bei gleichem Druck möglichen grössten Geschwindigkeiten aber nur wie die Quadratwurzeln aus diesen. In jedem Falle genügt aber für Lüftungszwecke die untere Oeffnung, wenn sie so gross ist wie die obere, und wenn diese genügt. Es ist daher zweckentsprechend, aus der Geschwindigkeit C der wärmeren Luft und dem gegebenen Luftbedarf die Querschnitte der Oeffnungen zu berechnen. (Vgl. § 70 ds. Bs.)

Man bedient sich hierzu wohl am meisten der Formel (11). Da sie keine Werthe enthält, die man erst durch Nachschlagen finden müsste, wie bei den Formeln (6), (7), (8), (9), so eignet sie sich gut für rasch auszuführende Ueberschlagsberechnungen einfacher Anlagen, namentlich wenn man durch Erfahrung und mehrfache genauere Vergleichsberechnungen die Fertigkeit erlangt hat, den der Widerstände wegen beizufügenden Coëfficienten, etwa 0,5 oder 0,3 u. s. w. den Umständen gemäss ziemlich richtig zu schätzen.

Ist eine oder jede der beiden Luftsäulen, welche einander in der Höhe H gegenüber stehen, aus mehreren kleineren Luftsäulen von verschiedenen Temperaturen zusammengesetzt, so kann man die nach den Höhenverhältnissen sich ergebenden mittleren Temperaturen oder genauer die Mischungstemperaturen (§§ 54, 122, 123 ds. Bs.) einführen oder mit den entsprechend erweiterten Formeln (6) bis (11) rechnen, wie folgt.

In Figur 16 sei ein zusammengesetztes Luftleitungssystem skizzirt, welches zunächst vom Anfang A bis zum Ende F als ein dicht geschlossenes betrachtet werde. Bei A fliesst die kalte Aussenluft von der Temperatur t in den Kanal $A\,B$, sie gelange ohne Temperatur-

änderung in den Raum *W*, eine Wärmekammer, aus welcher sie an der Decke mit der Temperatur t_2 nach dem zu heizenden Raume *R* abströmt. Am Fussboden dieses Raumes entweicht die Luft durch einen Abluftkanal *E F* aufwärts in's Freie. Als Temperatur t_1 in der Wärmekammer kann die mittlere von t und t_2 angenommen werden. Auch im Raum *R* ist die Temperatur oben höher wie unten; doch kommt die Luftschicht über der Zuflussöffnung *D* nicht in Betracht, weil ihr Druck gleichmässig auf die Zufluss- und Abflussöffnung wirkt. Für die Luft in der Höhe h_3 sei t_3 die mittlere Temperatur.

Fig. 16.

Man erkennt sofort, dass Ueberdruck und Bewegung sich in der Richtung von *A* gegen *F* ergeben muss. Der von *A* gegen *F* hin vorhandene Druck ist für die Flächeneinheit

$$h\gamma + h_3 \gamma_3,$$

der Druck in der entgegengesetzten Richtung

$$h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 + h_4 \gamma_4.$$

Daher der sich fortpflanzende Ueberdruck für die Flächeneinheit an irgend einem Kanalquerschnitt

$$p = h\gamma + h_3 \gamma_3 - h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 - h_4 \gamma_4.$$

Sucht man die Geschwindigkeit im Warmluftkanal *C D*, so ist hierfür die dem Ueberdruck entsprechende Luftsäulenhöhe oder die Ueberdruckhöhe

$$\frac{p}{\gamma_2} = \frac{h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4}{\gamma_2}$$

und die theoretische Geschwindigkeit daselbst nach Gleichung (2)

$$(14)\quad C_2 = \sqrt{2\,g\,\frac{p}{\gamma_2}} = \sqrt{2\,g\,\frac{h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4}{\gamma_2}}$$

Sind die Querschnitte der Kanäle *A B* und *E F*, welche kältere Luft führen, ebenso gross wie der Querschnitt des Kanals *C D*, so ergeben sich die Geschwindigkeiten in jenen im umgekehrten Verhältniss der Dichtigkeiten oder im directen Verhältniss der absoluten Temperaturen. Im Allgemeinen verhalten sich die Geschwindigkeiten offenbar umgekehrt wie die Producte aus den Querschnitten und Dichtigkeiten. Wäre in einem der kälteren Kanäle der relativ kleinste Querschnitt des ganzen Leitungsystems vorhanden, so würde in Gleichung (14) der Divisor γ, beziehungsweise γ_4 anstatt γ_2 zu setzen sein, um die theoretische Geschwindigkeit C, beziehungsweise C_4 zu finden, woraus dann die andern Geschwindigkeiten nach dem angegebenen Verhältniss zu berechnen wären.

Uebrigens ist zu bemerken, dass der Abluftkanal *E F* gewöhnlich nicht als ein so massgeblicher Bestandtheil eines, wie hier vorausgesetzt, geschlossenen grösseren Luftleitungssystems betrachtet werden darf. Ich komme bei der weiteren Behandlung dieses Falls mit Berücksichtigung der Bewegungswiderstände hierauf zurück.

Bei Benützung der specifischen Gewichte auf Luft von 0° als Einheit bezogen geht Gleichung (14) über in

$$(15)\quad C_2 = \sqrt{2\,g\,\frac{hs + h_3 s_3 - h_1 s_1 - h_2 s_2 - h_4 s_4}{s_2}}.$$

Die Anwendung der absoluten Temperaturen führt auf die Gleichung

$$(16)\quad C_2 = \sqrt{2\,g\,t_2\left(\frac{h}{t} + \frac{h_3}{t_3} - \frac{h_1}{t_1} - \frac{h_2}{t_2} - \frac{h_4}{t_4}\right)}.$$

Ist ausser dem Ueberdruck der ungleich warmen Luftmassen zugleich noch ein anderer Druck in gleichem Sinne wirksam, z. B. eine durch natürlichen Wind oder durch die Thätigkeit eines mechanischen Ventilators hervorgebrachte Pressung P Kilogramm auf 1 Quadratmeter, so ist den obigen Ausdrücken der Luftsäulenhöhe von der Dichtigkeit γ_2 noch $\frac{P}{\gamma_2}$ beizufügen. Dieses kann bei einer jeden der vorstehenden Geschwindigkeitsgleichungen geschehen; doch eignet sich dann der Gleichmässigkeit wegen Formel (14) am besten zur Benützung, wie auch

wenn in ähnlicher Weise Widerstände der Bewegung berücksichtigt, also überhaupt die Geschwindigkeiten genauer berechnet werden sollen.

Mit Berücksichtigung einer natürlichen oder künstlichen Windpressung P in der gegebenen Bewegungsrichtung geht Formel (14) in die folgende Gleichung der theoretischen Geschwindigkeit über:

$$(17) \quad C_2 = \sqrt{2\,g\,\frac{h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4 + P}{\gamma_2}}.$$

Dagegen bei entgegengesetzter Windrichtung in:

$$(18) \quad C_2 = \sqrt{2\,g\,\frac{h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4 - P}{\gamma_2}}.$$

Ist hierin die ungünstige Windpressung P so gross, dass der Werth unter dem Wurzelzeichen negativ wird, so ist der Ausdruck doch nicht als imaginär aufzufassen, die Geschwindigkeit ergiebt sich wie im andern Fall als positive Grösse und das Negativzeichen bedeutet die umgekehrte Bewegungsrichtung.

Da das Gewicht von einem Kubikmeter Luft bei verschiedenen Temperaturen wie in den Gleichungen (14), (17), (18) auch sonst häufig in Rechnung zu bringen ist, wird man um so mehr die Formeln mit diesen Werthen jenen mit den specif. Gewichten für Luft von 0° als Einheit vorziehen. Zur bequemen Benützung der betreffenden Formeln dient nachstehende Tabelle.*)

Kubikmeter-Gewicht trockner Luft bei 760 mm Luftdruck.

Grad C	Kilogramm	Grad C	Kilogramm	Grad C	Kilogramm	Grad C	Kilogramm
—20	1,399	11	1,247	21	1,204	32	1,161
—15	1,372	12	1,243	22	1,200	34	1,153
—10	1,346	13	1,238	23	1,196	36	1,146
—5	1,321	14	1,234	24	1,192	38	1,138
0	1,293	15	1,229	25	1,188	40	1,131
3	1,284	16	1,225	26	1,184	45	1,114
5	1,274	17	1,221	27	1,180	50	1,096
7	1,265	18	1,217	28	1,176	60	1,063
9	1,256	19	1,212	29	1,172	80	1,000
10	1,252	20	1,208	30	1,168	t	$\frac{1{,}293}{1+0{,}003665\,t}$

*) Tabelle hauptsächlich nach Prof. Herm. Fischer, Handbuch der Architektur, 1881, 4. Band, S. 75.

Wie die Formeln der mit c und C bezeichneten theoretischen Geschwindigkeiten erweitert werden können, um die mit v und V zu bezeichnenden wirklichen Geschwindigkeiten zu berechnen, ist in den Paragraphen 83, 166 u. s. w. ds. Bs. gezeigt. Es genügt zwar häufig, dem Ausdruck der theoretischen Geschwindigkeit einen Pauschcoëfficienten beizusetzen, dessen annähernd richtige Bestimmung, wie aus den Schlussbemerkungen von § 169 hervorgeht, mitunter keine Schwierigkeit hat. Doch ist in vielen Fällen genauere Berechnung nothwendig. Solche ergiebt sich in anschaulicher und überzeugender Weise aus der Gegenüberstellung der Bewegungswiderstände und der Kraft der bewegenden Mittel.*)

Der Erzeugung der Geschwindigkeit V entspricht die Geschwindigkeitshöhe $\frac{V^2}{2g}$. In Fig. 15 ist die bewegende Kraft der Ueberdruck, zugleich Emportrieb**)

$$H\gamma - H\gamma_1.$$

Angenommen vorerst, es soll dieser Ueberdruck die Luft vom Kubikmetergewicht γ_1 mit der Geschwindigkeit V bewegen, ohne dass weitere Bewegungswiderstände vorhanden sind, so ist die Auffassung dieselbe, als wenn der Ueberdruck die wärmere Luft auf die Geschwindigkeitshöhe $\frac{V^2}{2g}$ zu heben im Stande sein, mit dem Gewicht der wärmeren Luftsäule von dieser Höhe sich ins Gleichgewicht stellen muss. Es besteht alsdann die Gleichung:

$$H\gamma - H\gamma_1 = \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma_1$$

woraus übereinstimmend mit Formel (7) sich die Geschwindigkeit ergibt:

$$V = \sqrt{\frac{2g(H\gamma - H\gamma_1)}{\gamma_1}} = \sqrt{2gH\left(\frac{\gamma}{\gamma_1} - 1\right)}.$$

Durch die Bewegungswiderstände wird die einmal hervorgebrachte lebendige Kraft der bewegten Luft ganz oder theilweise verloren; durch den Emportrieb muss sie wieder erzeugt werden. Es ist somit diesem der Werth $\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma_1$ nicht nur einfach, sondern mehrfach gegenüber zu stellen.

Man kann die Widerstandsgrössen vorerst den Druckhöhen gegenüber

*) H. Fischer l. c. S. 120.

**) Ich vermeide hier das zuweilen in diesem Sinne gebrauchte Wort „Auftrieb“, weil Auftrieb nach § 16 ds. Bs. seine besondere Bedeutung hat, hier nur den positiven Theil des Emportriebs bezeichnen würde.

als Widerstandshöhen, Luftsäulenhöhen, oder sogleich als Pressungen dieser Luftsäulen für 1 qm Querschnitt auffassen, wie es im Folgenden geschieht und zwar allgemein für Luft vom Kubikmetergewicht γ. So ist die Grösse des Reibungswiderstands ausgedrückt durch

$$\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \frac{KLU}{Q}.$$

Darin ist L die Länge des Luftkanals, U der Umfang und Q die Fläche des Querschnitts. Der Coëfficient K ist bei glattwandigen Röhren 0,006*) bis 0,008, bei gemauerten Kanälen, je nach dem Zustande der Kanalwände 0,008 bis 0,014, bei Rauchschornsteinen 0,012 bis 0,02. Hierbei ist der Einfluss der Luftdurchlässigkeit von Schornsteinen und dünnwandigen Luftleitungskanälen mit eingeschlossen.

Für die Widerstände bei Richtungsänderungen setzt man bei rechtwinkeliger Ablenkung ohne Abrundung $\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$, bei gut gerundeten Rohrknien (0,3 bis 0,5) $\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$, für eine Vergitterung, welche keine Querschnittsverkleinerung veranlasst, also in entsprechend erweitertem Querschnitt liegt, (0,8 bis 1,3) $\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$.

Bei einer bedeutenden Querschnittserweiterung nimmt man an, dass die der Luft zuerst eigene Geschwindigkeit verloren geht und von neuem erzeugt werden muss, der Druck $1 \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \gamma$ also wiederholt zu überwinden ist.

Beispielsweise mögen nun für das von A bis F geschlossen gedachte Leitungssystem (Fig. 16) die Widerstände zusammengestellt werden und zwar zuerst unter der Voraussetzung, dass in den drei Kanälen die Geschwindigkeit gleich gross sei. Die Querschnitte dieser Kanäle müssten sich dann umgekehrt verhalten wie die Dichten der sie durchströmenden Luft; der Kanal AB müsste also den kleinsten, EF einen grösseren und CD den grössten Querschnitt haben.

---

*) Der Coëfficient $K = 0{,}006$ stimmt mit den in §§ 84, 169 u. s. w. ds. Bs. in anderen Verbindungen gebrauchten Werthen überein, ebenso mit dem von H. Fischer (Handbuch der Architektur 1881, 4. Band, S. 96) angegebenen kleinsten Werthe $k = 0{,}0008$ in der Verbindungsweise

$$20\, k \frac{\gamma_0}{1 + at} l \frac{u}{q} \frac{v^2}{2g}$$

Die übrigen hier aufgeführten Coëfficienten sind genannter Quelle entnommen.

Da im Beharrungszustande durch jeden Querschnitt die gleiche Gewichtsmenge Luft fliessen muss, so ist

$$Q V \gamma = Q_2 V_2 \gamma_2 = Q_4 V_4 \gamma_4$$

und für die Annahme $V = V_2 = V_4$ sind die nothwendigen Querschnitte, wenn für Q im Kanal AB eine bestimmte Grösse angenommen ist,

$$Q_2 = \frac{Q\gamma}{\gamma_2} \text{ und } Q_4 = \frac{Q\gamma}{\gamma_4}.$$

Contractionswirkungen ausser den an den Krümmungen berücksichtigten seien durch Anwendung gleichmässiger Röhren und richtig geformter Rohreinmündungen vermieden und wegen gleichmässiger glatter Röhrenwandungen sei der Reibungscoëfficient überall gleich gross, etwa $K = 0{,}006$ in jedem der drei Kanäle.

Im Kanal AB ist nun bei der Lufttemperatur t der Reibungswiderstand

$$\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma \frac{KLU}{Q}.$$

Für die Erzeugung der Geschwindigkeit V, eine Vergitterung bei A und zwei rechtwinkelig ausgerundete Kanalkrümmungen ist zu setzen, wenn wegen guter Ausführung die kleinsten Werthe genommen werden,

$$\frac{V^2}{2g} \cdot \gamma (1 + 0{,}8 + 0{,}3 + 0{,}3) = 2{,}4 \frac{V^2}{2g} \gamma.$$

Der Raum W sei so gross, dass die lebendige Kraft als verloren gehend betrachtet wird. Im Kanal CD ist der Reibungswiderstand bei der Lufttemperatur t_2 $\quad \frac{V_2{}^2}{2g} \cdot \gamma_2 \frac{KL_2 U_2}{Q_2}.$

Für Erzeugung der Geschwindigkeit V_2, zwei weniger gut ausgerundete Krümmungen und ein Gitter bei D ist

$$\frac{V_2{}^2}{2g} \cdot \gamma_2 (1 + 0{,}4 + 0{,}4 + 0{,}8) = 2{,}6 \frac{V_2{}^2}{2g} \gamma_2.$$

Und für den Kanal EF, welcher unten ein gut ausgerundetes Knie und ein Gitter haben soll, ist bei der Lufttemperatur t_4 der Gesammtwiderstand

$$\frac{V_4{}^2}{2g} \gamma_4 \frac{KL_4 U_4}{Q_4} + \frac{V_4{}^2}{2g} \gamma_4 (1 + 0{,}8 + 0{,}3).$$

Stellt man die Summe aller dieser Widerstände dem vorhandenen Emportrieb gegenüber, so erhält man für die Annahme $V = V_2 = V_4$

$$\frac{V^2}{2g}\left(\gamma \frac{KLU}{Q} + \gamma_2 \frac{KL_2 U_2}{Q_2} + \gamma_4 \frac{KL_4 U_4}{Q_4} + 2{,}4\,\gamma + 2{,}6\,\gamma_2 + 2{,}1\,\gamma_4\right)$$
$$= h\gamma + h_3 \gamma_3 - h_1 \gamma_1 - h_2 \gamma_2 - h_4 \gamma_4.$$

$$V = \sqrt{\frac{2g\,(h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4}{\gamma\left(\frac{KLU}{Q} + 2{,}4\right) + \gamma_2\left(\frac{KL_2U_2}{Q_2} + 2{,}6\right) + \gamma_4\left(\frac{KL_4U_4}{Q_4} + 2{,}1\right)}}.$$

Als weiteres Beispiel soll angenommen werden, die Kanalquerschnitte seien gleich gross, also

$$Q = Q_2 = Q_4.$$

Dann sind bei den verschiedenen Temperaturen auch die Geschwindigkeiten verschieden und stehen im umgekehrten Verhältniss der Luftdichten. Der Berechnung ist die Geschwindigkeit in dem mit Rücksicht auf die Temperatur relativ kleinsten Querschnitt zu Grunde zu legen, also die Geschwindigkeit V_2 im Warmluftkanal CD. Dann ist

$$V = \frac{V_2 \gamma_2}{\gamma} \text{ und } V_4 = \frac{V_2 \gamma_2}{\gamma_4}$$

und man erhält die Gleichung:

$$\gamma \frac{V_2^2}{2g} \frac{\gamma_2^2}{\gamma^2}\left(\frac{KLU}{Q} + 2{,}4\right) + \gamma_2 \frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{KL_2 U_2}{Q} + 2{,}6\right)$$

$$+ \gamma_4 \frac{V_2^2 \gamma_2^2}{2g \gamma_4^2}\left(\frac{KL_4 U_4}{Q} + 2{,}1\right) = h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4$$

$$\frac{V_2^2}{2g}\gamma_2\left(\frac{\gamma_2}{\gamma}\left[\frac{KLU}{Q} + 2{,}4\right] + \frac{KL_2 U_2}{Q} + 2{,}6 + \frac{\gamma_2}{\gamma_4}\left[\frac{KL_4 U_4}{Q} + 2{,}1\right]\right)$$

$$= h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4$$

$$V_2 = \sqrt{2g \frac{h\gamma + h_3\gamma_3 - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_4\gamma_4}{\gamma_2}} :$$

$$\sqrt{\frac{\gamma_2}{\gamma}\left[\frac{KLU}{Q} + 2{,}4\right] + \frac{KL_2 U_2}{Q} + 2{,}6 + \frac{\gamma_2}{\gamma_4}\left[\frac{KL_4 U_4}{Q} + 2{,}1\right]}.$$

Sind nicht nur die Querschnittsgrössen sondern auch die Querschnittsformen gleich, so kann letzterer Wurzelausdruck etwas kürzer geschrieben werden, und da der erste Wurzelausdruck nach Formel (14) die theoretische Geschwindigkeit C_2 ist, so ergibt sich auch;

$$V_2 = C_2 : \sqrt{\frac{KU}{Q}\left(L\frac{\gamma_2}{\gamma} + L_2 + L_4\frac{\gamma_2}{\gamma_4}\right) + 2{,}4\frac{\gamma_2}{\gamma} + 2{,}6 + 2{,}1\frac{\gamma_2}{\gamma_4}}.$$

Um die Aufgabe allgemein zu fassen, sollen nun die Kanalquerschnitte beliebig gross und geformt sein, nur mit Beibehaltung der auch in der Anwendung zweckentsprechenden Bedingung, dass der Ouerschnitt Q_2 des Warmluftkanals CD der relativ kleinste sei. Dann sind die Geschwindigkeiten in den Kanälen AB und EF wieder durch die Geschwindigkeiten im Kanal CD auszudrücken.

Nach der allgemein für den Beharrungszustand geltenden Gleichung

$$QV\gamma = Q_2 V_2 \gamma_2 = Q_4 V_4 \gamma_4$$

wird nun

$$V = V_2 \frac{Q_2 \gamma_2}{Q\gamma} \text{ und } V_4 = V_2 \frac{Q_2 \gamma_2}{Q_4 \gamma_4}.$$

Die Reibungscoëfficienten mögen verschieden, nämlich K, K_2, K_4 sein. Unter diesen Voraussetzungen besteht die Gleichung:

$$\gamma \frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{Q_2\gamma_2}{Q\gamma}\right)^2\left(\frac{KLU}{Q}+2{,}4\right)+\gamma_2\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{K_2L_2U_2}{Q_2}+2{,}6\right)+$$

$$\gamma_4\frac{V_2^2}{2g}\left(\frac{Q_2\gamma_2}{Q_4\gamma_4}\right)^2\left(\frac{K_4L_4U_4}{Q_4}+2{,}1\right)=h\gamma+h_3\gamma_3-h_1\gamma_1-h_2\gamma_2-h_4\gamma_4$$

$$\frac{V_2^2}{2g}\gamma_2\left(\frac{Q_2^2}{Q^2}\frac{\gamma_2}{\gamma}\left[\frac{KLU}{Q}+2{,}4\right]+\frac{K_2L_2U_2}{Q_2}+2{,}6+\right.$$

$$\left.\frac{Q_2^2}{Q_4^2}\frac{\gamma_2}{\gamma_4}\left[\frac{K_4L_4U_4}{Q_4}+2{,}1\right]\right)=h\gamma+h_3\gamma_3-h_1\gamma_1-h_2\gamma_2-h_4\gamma_4.$$

$$V_2=\sqrt{2g\frac{h\gamma+h_3\gamma_3-h_1\gamma_1-h_2\gamma_2-h_4\gamma_4}{\gamma_2}}:$$

$$\sqrt{\frac{Q_2^2\gamma_2}{Q^2\gamma}\left[\frac{KLU}{Q}+2{,}4\right]+\frac{K_2L_2U_2}{Q_2}+2{,}6+\frac{Q_2^2\gamma_2}{Q_4^2\gamma_4}\left[\frac{K_4L_4U_4}{Q_4}+2{,}1\right]}.$$

In dieser Form eignet sich die allgemeine Gleichung der wirklichen Geschwindigkeit gut für die Einstellung der Zahlenwerthe in praktischen Fällen und macht, da der erste Wurzelausdruck die theoretische Geschwindigkeit C_2 ist, die Verminderung dieser durch die Widerstände für verschiedene Verhältnisse und Annahmen, sowie die verhältnissmässige Grösse verschiedener Widerstände anschaulich.

Die für die obigen Geschwindigkeitsermittlungen bei Fig. 16 gemachte Annahme, dass das ganze Luftleitungssystem von A bis F dicht geschlossen sei, ist in der Praxis nur ausnahmsweise zulässig, etwa für eine Trocknungsanlage, bei welcher der Raum R mit besonderen Mitteln und besonderer Sorgfalt möglichst dicht ausgeführt wäre. Soll durch Fig. 16 ein Luftheizungssystem dargestellt sein, bei welchem der Raum R ein Saal oder auch Zimmer ist, so kann dieser Raum keineswegs als dicht geschlossen betrachtet werden. Wie von mir und Andern häufig durch Anemometerbeobachtungen gefunden wurde, wird die Luftbewegung von A nach D durch den Schluss der Oeffnung E nicht aufgehoben, ebensowenig die Luftbewegung von E nach F durch Schliessen bei D. Der Einfluss des Oeffnens und Schliessens einer dieser Oeffnungen auf die Luftströmung durch die andere ist verhältnissmässig gering, oft kaum bemerkbar. Gleiches gilt von dem Einfluss des Oeffnens eines Fensters auf die Luftbewegung durch beide Oeffnungen D und E. Das erklärt sich aus der Luftdurchlässigkeit der Umgrenzungskörper unserer Zimmer. Im Allgemeinen findet an der Aussenwand eines warmen Zimmers in der unteren Hälfte ein Ueberdruck von aussen nach innen, in der oberen Hälfte ein Ueberdruck von innen nach aussen statt, während

in mittlerer Höhe eine neutrale Zone ist. Durch Fugen, Ritzen und Mauerporen fliesst unter der neutralen Zone Luft aus dem Freien ins Zimmer, über der neutralen Zone vom Zimmer ins Freie. Besondere Luftzuführung rückt die neutrale Zone nach unten, besondere Luftabführung nach oben. Wenn aber gleichzeitig und gleichmässig besondere Zuführung und besondere Abführung stattfindet, bleibt die neutrale Zone in der Mitte.

Es ist daher auf die Geschwindigkeit der Zuluft und Abluft zwar nicht ohne Einfluss, in welcher Höhe des Zimmers die betreffenden Oeffnungen liegen, allein der Einfluss dieser Höhenlage ist in Bezug auf den von der Fensterwand u. s. w. gegen die Oeffnung fortgepflanzten Druck

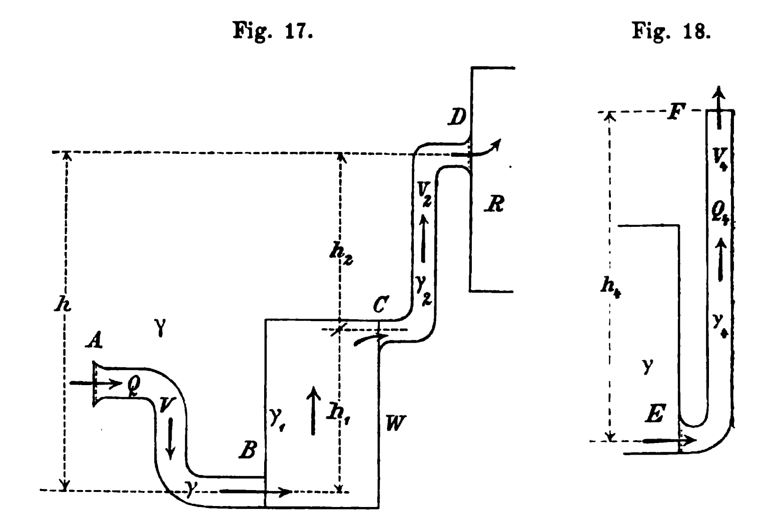


Fig. 17. Fig. 18.

oder Gegendruck schwer annähernd genau in Rechnung zu bringen, und er ist den hauptsächlich wirksamen Kräften gegenüber so gering, dass man ihn vernachlässigen, die Zuluft- und Abluftströmung unabhängig von einander betrachten darf. Dadurch werden auch die Geschwindigkeitsberechnungen in erwünschter Weise vereinfacht, ohne zu ungenau zu sein.

Man darf also so rechnen, als ob der Warmluftkanal bei *D* ins Freie münden würde, und für den Abluftkanal ist ebenso die Annahme zulässig, dass die Aussenluft ihren Druck unmittelbar auf die Oeffnung *E* ausübe, so dass hier für den Emportrieb nur die beiden Luftsäulen von der Höhe des Abluftkanals mit der Aussentemperatur und Temperatur im Abluftkanal zu berücksichtigen sind.

Warmluft- und Abluftkanäle macht man gern so eng als zulässig, um sie in den Mauern emporführen zu können. Den Querschnitt des Kaltluftkanals dagegen von der Aussenmündung *A* bis zur Einmündung *B* an der Heizkammer macht man zweckmässig der besseren Staubablagerung und leichteren Reinigung wegen viel grösser.

Für die Berechnung der Zuluftleitung (Fig. 17) geht nach dem Gesagten aus der vorigen allgemeinen Gleichung die folgende hervor:

$$V_2 = \sqrt{2\,g\,\frac{h\gamma - h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2}{\gamma_2}}$$

$$: \sqrt{\frac{Q_2{}^2\gamma_2}{Q^2\gamma}\left[\frac{KLU}{Q} + 2{,}4\right] + \frac{K_2 L_2 U_2}{Q_2} + 2{,}6}$$

und für die Berechnung des Abluftkanals (Fig. 18), wie leicht ersichtlich:

$$V_4 = \sqrt{2\,g\,\frac{h_4\gamma - h_4\gamma_4}{\gamma_4}} : \sqrt{\frac{K_4 L_4 U_4}{Q_4} + 2{,}1.}$$

Diese Formeln sind einfach genug, um für wiederholte Durchführung der Rechnung mit geänderten Querschnitten zu dienen, wenn sich bei den zuerst angenommenen Querschnitten Geschwindigkeiten ergeben, welche dem Luftbedarf nicht entsprechen.

Fünfte Abhandlung.

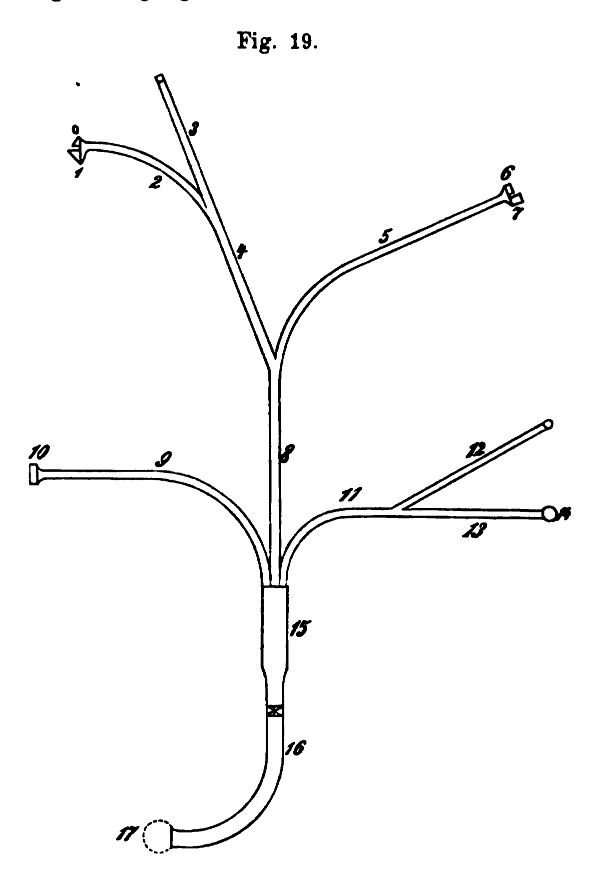
Ueber die Berechnung von Anlagen für mechanische Ventilation.

Wenngleich sich in sehr vielen Fällen durch Benützung vorhandener oder Hervorbringung grösserer Temperaturunterschiede genügender Luftwechsel erreichen lässt, so ist doch unter manchen Umständen die Anwendung von Ventilationsmaschinen zweckmässig und sogar nothwendig. Es ergibt sich daher mitunter die Aufgabe, Anlagen für mechanische Ventilation zu berechnen. Diese Berechnung geschieht selten mit wünschenswerther Genauigkeit und Vollständigkeit. Unter der Voraussetzung, dass in zusammenmündenden Zweigkanälen die Luftgeschwindigkeiten gleich seien, macht man die Querschnittsgrössen solcher Kanäle den zu liefernden Luftmengen proportional. Wegen der Ungleichheit der Bewegungswiderstände liefern dann einzelne Kanäle zu wenig Luft, andere dagegen mehr als zweckdienlich oder nothwendig, wenn das Luftquantum im ganzen das verlangte ist. Aber auch diese Gesammtluftmenge wird nicht immer geliefert, weil die nöthige Wirkungsgrösse des Ventilators mitunter gar nicht berechnet, sondern dem Preisverzeichniss einer Fabrik von Ventilations-Maschinen entnommen wird. In einer solchen Tabelle sind die Grössen und Pferdekräfte von Ventilatoren angegeben, welche der Lieferung bestimmter Luftmengen entsprechen sollen. Diese Angaben gelten jedoch nur unter gewissen einfachen Voraussetzungen; auf die grosse Verschiedenheit der Widerstände kann darin nicht Rücksicht genommen sein, eben so wenig auf die Ungleichheit der Luftgeschwindigkeiten bei verschiedenen Anlagen und bei den verschiedenen Kanälen einer Anlage. Die aufzuwendende mechanische Arbeit wächst aber — abgesehen von allen Bewegungswiderständen — für die Lieferung der nämlichen Luftmenge im quadratischen Verhältniss mit der Luftgeschwindigkeit. Daher ist es ein Zufall, wenn der nach der Fabriktabelle ohne Controlberechnung gewählte Ventilator zweckentsprechend wirkt.

Eine zuverlässige Berechnungsweise mag hier an einem Beispiel für die Ventilation von acht verschieden grossen Räumen gezeigt werden.

Diesem Zwecke der Belehrung entsprechend soll die beigegebene Figur 19 nicht eine Musteranlage vorstellen, sondern eine derartige Vereinigung von Kanälen, dass die Beurtheilung der verschiedenen Einflüsse nach den Ergebnissen der Rechnung nahe gelegt ist.

Fig. 19.



Um vorerst die Berechnungen nicht zu verwickelt werden zu lassen, sei angenommen, dass — wie in den meisten Fällen anzunehmen zulässig — die Luftbeschaffenheit in Bezug auf Zusammensetzung, Temperatur und Dichte in allen Kanälen und in der Umgebung der beiderseitigen Mündungen die gleiche ist. Die Kanäle seien theils horizontal, theils vertical, und die Mündungen der verticalen Kanäle 6 m über den Horizontalkanälen. Der Ventilator befinde sich im Kanal 16. Ob es sich um eine Druck- oder Saug-Ventilation handelt, ist unter den gemachten Voraussetzungen gleichgültig.

Es ist sachdienlich, ohne Rücksicht auf die bei Anfertigung des provisorischen Plans angenommene Geschwindigkeit zunächst das Verhältniss der Geschwindigkeiten zu suchen. Man beginnt die Rechnung bei einem Endkanal, wie hier bei dem verticalen Kanal 0, und setzt die Geschwindigkeit in denselben $v_0 = 1$ m.

Ist γ das Gewicht von 1 cbm der zu bewegenden Luft und F die kurze Bezeichnung des Widerstands-Factors, welcher aus verschie-

denen Summanden zusammengesetzt ist und z. B. in der letzten Gleichung der vorigen Abhandlung unter dem zweiten Wurzelzeichen steht, so sind in den beiden verticalen Kanälen 0 und 1 die Pressungen in mm Wassersäulenhöhe oder in kg auf 1 qm Querschnitt ausgedrückt durch:

$$p_0 = \gamma \frac{v_0{}^2}{2\,g} F_0 \text{ und } p_1 = \gamma \frac{v_1{}^2}{2\,g} F_1.$$

Diese Pressungen müssen einander gleich sein, weil an den gleichliegenden Kanalenden der gleiche Druck besteht. Wären diese Pressungen für einen Augenblick nicht gleich, wäre etwa p_0 kleiner als p_1, so würde sofort die Geschwindigkeit v_0 grösser und zwar so gross, dass $p_0 = p_1$ wird.

Man hat demnach die Gleichungen

$$\gamma \frac{v_0{}^2}{2\,g} F_0 = \gamma \frac{v_1{}^2}{2\,g} F_1$$

$$v_0{}^2 F_0 = v_1{}^2 F_1$$

$$v_1 = v_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_1}}.$$

Dann wird, wenn Q_0, Q_1, Q_2 die ersten Kanalquerschnitte sind:

$$v_2 Q_2 = v_0 Q_0 + v_1 Q_1$$

$$v_2 = \frac{v_0 Q_0 + v_1 Q_1}{Q_2}.$$

So findet man alle 16 Geschwindigkeiten von v_1 bis v_{16} oder ihr Verhältniss zu v_0 aus 16 Gleichungen nach den folgenden, unter Voraussetzung unveränderlicher Luftdichte geltenden Sätzen:

1. Die Pressungen für die Flächeneinheit der Querschnitte sind bei Zweigkanälen an deren Vereinigungsstelle gleich gross.

2. Die Summe der Producte aus den Geschwindigkeiten und Querschnitten in den Zweigkanälen ist gleich dem Product aus Geschwindigkeit und Querschnitt im gemeinsamen Kanal.

3. In verschiedenen Strecken des nämlichen Kanals bleibt bei beliebigen Querschnitten das Product aus Querschnitt und Geschwindigkeit überall gleich.

Um die specielle Rechnung durchzuführen, sind die Werthe der Widerstands-Factoren F_0, F_1 u. s. w. ebenso zu bestimmen, wie es für die Ermittlung der Luftgeschwindigkeiten in der vorigen Abhandlung geschehen ist. In dem Ausdruck des Reibungswiderstandes, allgemein

$$\gamma \frac{v^2}{2\,g} \cdot \frac{KLU}{Q}$$

mag der Coëfficient K hier für glattwandige Röhren 0,006, für sorgfältig ausgeführte reine Mauerkanäle von quadratischem und oblongem

Querschnitt 0,008, für solche von dreieckigem Querschnitt wegen der bei mehrfachem Verhauen der Steine weniger gleichmässigen Ausführung 0,01 angenommen werden.

Für $U:Q$ kann bei kreisförmigem und quadratischem Querschnitt $4:D$ gesetzt werden (wobei D der Kreis-Durchmesser, bezw. die Quadratseite ist; vgl. S. 220 ds. Bs.), bei halbquadratisch oblongem Querschnitt, wenn D die grössere Seite ist, $6:D$, bei halbquadratisch dreieckigem Querschnitt mit den Katheten D dagegen $6{,}88:D$.

Für die Widerstände der Kanalkrümmungen mag hier $0{,}2\frac{v^2}{2g}\gamma$ bis $0{,}4\frac{v^2}{2g}\gamma$ gesetzt werden, für eine rechtwinkelige Richtungsänderung ohne Abrundung der Ecken $1\frac{v^2}{2g}\gamma$, mit etwas abgerundeten Ecken $0{,}9\frac{v^2}{2g}\gamma$, ebenso $0{,}9\frac{v^2}{2g}\gamma$ für den Gitterwiderstand bei entsprechender Erweiterung der Gitteröffnung.

Danach hat man beispielsweise in einem verticalen Kanal mit Wandöffnung für die Erzeugung der Geschwindigkeit und für die Widerstände einer rechtwinkeligen etwas abgerundeten Richtungsänderung und eines Gitters:

$$(1+0{,}9+0{,}9)\frac{v^2}{2g}\gamma = 2{,}8\frac{v^2}{2g}\gamma$$

und wenn noch eine horizontale Kanalstrecke von gleichem Querschnitt mit gerechnet wird, an welche der verticale Theil sich rechtwinkelig ohne Abrundung anschliesst:

$$(2{,}8+1)\frac{v^2}{2g}\gamma = 3{,}8\frac{v^2}{2g}\gamma.$$

Bezeichnet man die Summe dieser Zahlen für eine bestimmte Kanalstrecke mit S, so ist mit Hinzurechnung des Reibungswiderstands der Widerstands-Factor F allgemein ausgedrückt durch

$$F = S + KL\frac{U}{Q}.$$

Der Widerstands-Factor erhält hiernach in den einzelnen Kanälen folgende Werthe:

Kanal 0 mit rechtwinkeliger ausgerundeter Krümmung nebst Gitter; Länge 6 m, Querschnitt Dreieck mit 0,2 m Kathete:

$$F_0 = 2{,}8 + 0{,}01 \,.\, 6\,\frac{6{,}83}{0{,}2} = 4{,}849$$

Kanal 1 mit rechtwinkeliger ausgerundeter Krümmung nebst Gitter; Länge 6 m, Querschnitt Dreieck mit 0,4 m Kathete:

$$F_1 = 2{,}8 + 0{,}01 \,.\, 6 \frac{6{,}83}{0{,}4} = 3{,}825.$$

Kanal 2 mit flacher Krümmung; Länge 10 m, Querschnitt Quadrat mit 0,3 m Seite:

$$F_2 = 1{,}2 + 0{,}008 \,.\, 10 \frac{4}{0{,}3} = 2{,}267.$$

Kanal 3 mit einer rechtwinkeligen scharfen und einer abgerundeten Krümmung nebst Gitter; Länge 16 m, Querschnitt Quadrat mit 0,3 m Seite:

$$F_3 = 3{,}8 + 0{,}008 \,.\, 16 \frac{4}{0{,}3} = 5{,}507.$$

Kanal 4, gerade; Länge 10 m, Querschnitt Kreis mit 0,5 m Durchmesser:

$$F_4 = 1 + 0{,}006 \,.\, 10 \frac{4}{0{,}5} = 1{,}480.$$

Kanal 5 mit schwacher Krümmung; Länge 20 m, Querschnitt Quadrat mit 0,4 m Seite:

$$F_5 = 1{,}2 + 0{,}008 \,.\, 20 \frac{4}{0{,}4} = 2{,}800.$$

Kanal 6 mit rechtwinkeliger, gerundeter Krümmung nebst Gitter; Länge 6 m, Querschnitt Quadrat mit 0,2 m Seite:

$$F_6 = 2{,}8 + 0{,}008 \,.\, 6 \frac{4}{0{,}2} = 3{,}760.$$

Kanal 7 mit rechtwinkeliger, gerundeter Krümmung nebst Gitter; Länge 6 m, Querschnitt Quadrat mit 0,4 m Seite:

$$F_7 = 2{,}8 + 0{,}008 \,.\, 6 \frac{4}{0{,}4} = 3{,}280.$$

Kanal 8, gerade; Länge 15 m, Querschnitt Kreis mit 0,66 m Durchmesser:

$$F_8 = 1 + 0{,}006 \,.\, 15 \frac{4}{0{,}66} = 1{,}556.$$

Kanal 9 mit allmählicher Richtungsänderung; Länge 20 m, Querschnitt Kreis mit 0,5 m Durchmesser:

$$F_9 = 1{,}3 + 0{,}006 \,.\, 20 \frac{4}{0{,}5} = 2{,}260.$$

Kanal 10 mit rechtwinkeliger, gerundeter Krümmung und Gitter; Länge 6 m, Querschnitt halbes Quadrat mit der grösseren Seite 1 m:

$$F_{10} = 2{,}8 + 0{,}008 \,.\, 6 \frac{6}{1} = 3{,}088.$$

Kanal 11 mit allmählicher Richtungsänderung; Länge 10 m; Querschnitt Kreis mit 0,4 m Durchmesser:

$$F_{11} = 1,3 + 0,006 \,.\, 10 \frac{4}{0,4} = 1,900.$$

Kanal 12 mit einer rechtwinkeligen scharfen und einer gerundeten Krümmung nebst Gitter; Länge 18 m; Querschnitt Kreis mit 0,2 m Durchmesser:

$$F_{12} = 3,8 + 0,006 \,.\, 18 \frac{4}{0,2} = 5,960.$$

Kanal 13, gerade; Länge 10 m, Querschnitt Kreis mit 0,8 m Durchmesser:

$$F_{13} = 1 + 0,006 \,.\, 10 \frac{4}{0,8} = 1,800.$$

Kanal 14 mit rechtwinkeliger gerundeter Krümmung und Gitter; Länge 6 m, Querschnitt Kreis mit 0,4 m Durchmesser:

$$F_{14} = 2,8 + 0,006 \,.\, 6 \frac{4}{0,4} = 3,160.$$

Kanal 15, gerade; Länge 5 m, Querschnitt Rechteck mit den Seiten 1,7 m und 0,7 m:

$$F_{15} = 1 + 0,008 \,.\, 5 \frac{4,8}{1,19} = 1,161.$$

Kanal 16 mit allmählicher Richtungsänderung und Gitter; Länge 15 m, Querschnitt Kreis von 1 m Durchmesser:

$$F_{16} = 2,2 + 0,006 \,.\, 15 \frac{4}{1} = 2,560.$$

Kanal 17, ein Ventilationskamin, wird vorerst als nicht vorhanden angenommen.

Nun können die Luftgeschwindigkeiten im Verhältniss zu v_0 berechnet werden. Setzt man vorläufig $v_0 = 1$ m, so wird:

$$v_1 = v_0 \sqrt{\frac{F_0}{F_1}} = 1 \sqrt{\frac{4,894}{3,825}} = 1,126 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{v_0 Q_0 + v_1 Q_1}{Q_2} = 1,228 \text{ m}$$

$$v_3 = \sqrt{\frac{v_2{}^2 F_2 + v_0{}^2 F_0}{F_3}} = 1,223 \text{ m}$$

$$v_4 = \frac{v_2 Q_2 + v_3 Q_3}{Q_4} = 1,122 \text{ m.}$$

Soweit konnten die Berechnungsformeln nach den obigen Sätzen sofort angeschrieben werden.

Die Luftgeschwindigkeiten in den Kanälen 5, 6 und 7, also v_5, v_6 und v_7 sind aus den drei zusammen gehörenden Gleichungen zu finden:

1) $v_5{}^2 F_5 + v_6{}^2 F_6 = v_4{}^2 F_4 + v_3{}^2 F_3$

2) $v_5 Q_5 = v_6 Q_6 + v_7 Q_7$

3) $v_6{}^2 F_6 = v_7{}^2 F_7$.

Daraus erhält man die Werthe:

$$v_5 = \sqrt{\frac{v_4{}^2 F_4 + v_3{}^2 F_3}{F_5 + \left(\frac{Q_5}{Q_6 + Q_7\sqrt{\frac{F_6}{F_7}}}\right)^2 F_6}} = 1{,}428 \text{ m}$$

$$v_6 = \sqrt{\frac{v_4{}^2 F_4 + v_3{}^2 F_3 - v_5{}^2 F_5}{F_6}} = 1{,}081 \text{ m}$$

$$v_7 = v_6\sqrt{\frac{F_6}{F_7}} = 1{,}157 \text{ m}.$$

Die Geschwindigkeit im Kanal 8 ergibt sich unmittelbar als:

$$v_8 = \frac{v_4 Q_4 + v_5 Q_5}{Q_8}\ 1{,}811 \text{ m}.$$

Zur Auffindung der Geschwindigkeiten v_9 und v_{10} dienen die beiden Gleichungen:

1) $v_9{}^2 F_9 + v_{10}{}^2 F_{10} = v_8{}^2 F_8 + v_4{}^2 F_4 + v_3{}^2 F_3$

2) $v_9 Q_9 = v_{10} Q_{10}$

Daraus ist:

$$v_9 = \sqrt{\frac{v_8{}^2 F_8 + v_4{}^2 F_4 + v_3{}^2 F_3}{F_9 + \left(\frac{Q_9}{Q_{10}}\right)^2 F_{10}}} = 2{,}161 \text{ m}$$

$$v_{10} = \frac{v_9 Q_9}{Q_{10}} = 0{,}848 \text{ m}.$$

Die Geschwindigkeiten in den Kanälen 11, 12, 13 und 14 sind gegenseitig aus den 4 Gleichungen bestimmbar:

1) $v_{11}{}^2 F_{11} + v_{12}{}^2 F_{12} = v_9{}^2 F_9 + v_{10}{}^2 F_{10}$

2) $v_{11} Q_{11} = v_{12} Q_{12} + v_{13} Q_{13}$

3) $v_{14} Q_{14} = v_{13} Q_{13}$

4) $v_{14}{}^2 F_{14} + v_{13}{}^2 F_{13} = v_{12}{}^2 F_{12}$.

Die Werthe sind:

$$v_{11} = \sqrt{\frac{v_9{}^2 F_9 + v_{10}{}^2 F_{10}}{F_{11} + \left(\frac{Q_{11}}{Q_{12} + Q_{13}\sqrt{\frac{F_{12}}{F_{13} + F_{14}\left(\frac{Q_{13}}{Q_{14}}\right)^2}}}\right)^2 F_{12}}} = 1{,}341 \text{m}$$

$$v_{12} = \sqrt{\frac{v_9{}^2 F_9 + v_{10}{}^2 F_{10} - v_{11}{}^2 F_{11}}{F_{12}}} = 1{,}253 \text{ m}$$

$$v_{13} = \frac{v_{11} Q_{11} - v_{12} Q_{12}}{Q_{13}} = 1{,}828 \text{ m}$$

$$v_{14} = \frac{v_{13} Q_{13}}{Q_{14}} = 1{,}028 \text{ m}.$$

Die Geschwindigkeiten in den Kanälen 15 und 16 ergeben sich wieder direct:

$$v_{15} = \frac{v_8 Q_8 + v_9 Q_9 + v_{11} Q_{11}}{Q_{15}} = 0{,}875 \text{ m}$$

$$v_{16} = \frac{v_{15} Q_{15}}{Q_{16}} = 1{,}326 \text{ m}.$$

Setzt man in obigen Gleichungen $v_0 = 2\,m$ oder $4\,m$, allgemein $v_0 = n$ statt $1\,m$, so ergeben sich alle Geschwindigkeiten von v_1 bis v_{16} auch 2- oder 4mal, allgemein $n$mal so gross als die gefundenen.

Man erkennt leicht das Verhältniss der Abweichung der wirklichen Geschwindigkeiten von den nothwendigen, welche sich aus der verlangten Luftmenge und den anzuwendenden Querschnitten ergeben. Die Vergrösserung des Querschnitts eines Zweigkanals bringt, wie aus der Vergleichung der Kanäle 0 und 1 oder 6 und 7 zu ersehen ist, eine Vergrösserung der Geschwindigkeit mit sich, zugleich eine andere Vertheilung der Luftmengen auf die Zweigkanäle. Man wird danach gegebenen Falles einzelne Querschnitte ändern und, wenn die Aenderungen bedeutend sind, die Berechnung der Widerstands-Factoren und Geschwindigkeiten wiederholt durchführen.

Sind diese Grössen definitiv festgestellt, dann ist die Berechnung der nöthigen mechanischen Arbeit in Secunden-Meter-Kilogramm oder in Pferdekraft eine verhältnissmässig geringe Arbeit.

Es mögen hier alle Werthe der obigen Rechnungen beibehalten werden. Die Lufttemperatur in der Leitung wie ausserhalb sei 0°, also $\gamma = 1{,}297$ kg.

Das Volumen der in einer Secunde zu liefernden Luft ist:

$$Q_{16} v_{16} = 0{,}7854 \,.\, 1{,}326 = 1{,}044 \text{ cbm},$$

das Gewicht derselben bei 0°:

$$1{,}297 \,.\, 1{,}044 = 1{,}351 \text{ kg},$$

in einer Stunde:

$$3600 \,.\, 1{,}351 = 4863 \text{ kg}.$$

Die zu suchende mechanische Arbeit oder der totale Effect E_t wird für den Querschnitt $Q_{16} = 0{,}7854$ qm des Ventilatorkanals wie folgt berechnet:

$$E_t = p\,Q_{16} v_{16} = 1{,}044\,p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \text{I}$$

Darin ist p die Pressung in mm Wassersäulenhöhe oder in kg auf 1 qm Querschnitt, aber weder diejenige Pressung, welche sich aus den alleinigen Widerständen im Kanal 16 ergeben würde, noch die Summe aller Pressungen in den sämmtlichen Kanälen, sondern die Summe der Pressungen in einer Strecke zwischen zwei in Bezug auf Einlass und Auslass entgegen gesetzten Mündungen des Kanalsystems, also von der Aussenmündung des Hauptkanals 16 an bis zur freien Mündung irgend eines Zweiges, etwa bis zur oberen Mündung des Kanals 10, nämlich:

$$p = \frac{\gamma}{2g}(v_{16}{}^2 F_{16} + v_{15}{}^2 F_{15} + v_9{}^2 F_9 + v_{10}{}^2 F_{10}).$$

Durch Einsetzen der oben berechneten Werthe erhält man

$$p = 1{,}1928 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{II}$$

und durch Einsetzen dieses Werthes in Gleichung I:

$$E_t = 1{,}1928 \,.\, 1{,}044 = 1{,}242 \text{ Sec. m kg} \quad . \; . \; . \quad \text{III}$$

$$\text{oder } \frac{1{,}242}{75} = 0{,}0166 \text{ Pferdekraft.}$$

Der Nutzeffect ist bei kleinen Ventilationsmaschinen geringer als bei grossen von gleicher Construction. Bei guten mittelgrossen Ventilatoren kann der Nutzeffect zu etwa 33 % angenommen werden. Für den Wirkungsgrad $\frac{1}{5}$ eines hier dienlichen kleinen Ventilators wäre die nöthige mechanische Arbeit

$$N = 0{,}0166 \,.\, 5 = 0{,}083 \text{ Pfdkr.}$$

Der Ventilator könnte in diesem Falle durch einen Mann getrieben werden.

Die vorgelegte Aufgabe ist hiermit gelöst; doch wird die Beifügung einiger Bemerkungen und Control-Berechnungen sachdienlich sein.

Wäre wieder die gleiche Luftmenge wie vorhin, nämlich in der Stunde 4863 kg, in der Secunde 1,351 kg mit der Geschwindigkeit $v_{16} = 1{,}326$ m durch den Ventilator-Kanal zu fördern, ohne dass Widerstände vorhanden wären, so hätte man:

$$E_t = (\gamma Q v)\frac{v^2}{2g} = \frac{1{,}351 \,.\, 1{,}326^2}{19{,}62} = 0{,}121 \text{ Sec. m kg.}$$

Mit Berücksichtigung der Widerstände war das Resultat über 10 mal so gross, nämlich 1,242 Sec. m. kg. Daraus ist zu ersehen, wie nothwendig die Berücksichtigung der Widerstände ist.

Soll ferner bei der nämlichen Anlage das $n$fache Luftquantum geliefert werden, so müssen alle Geschwindigkeiten $n$mal so gross sein; dann wird die Pressung n^2mal so gross und die mechanische Arbeit n^3-mal so gross.

Ist z. B. die 4fache Luftmenge zu liefern, so wird mit Berücksichtigung der Widerstände:

$$E_{t_2} = 1{,}242 \,.\, 64 = 79{,}488 \text{ Sec. m kg} = 1{,}06 \text{ Pfdkr.}$$

Der Ventilator würde bei $\frac{1}{8}$ Nutzeffect über 8 Pfdkr. erfordern. Die zu liefernde Luftmenge ist nun in der Secunde 4 . 1,044 = 4,176 cbm, in der Minute rund 250 cbm. Nach der Tabelle einer bedeutenden Maschinenfabrik würde für 280 cbm Luft in der Minute ein Ventilator von nur 0,6 Pfdkr. zu nehmen sein. Dieser könnte hier offenbar nicht genügen. Man erkennt hieraus die Wichtigkeit der vollständigen Berechnung eines jeden besonderen Falles.

An der Richtigkeit obiger kurzer Berechnung der mechanischen Arbeit durch die Gleichungen I, II und III mag auf den ersten Blick gezweifelt werden. Man könnte geneigt sein, in die Gleichung

$$E_t = p\,Q_{16}\,v_{16}$$

für p die Summe aller Pressungen in den Kanälen 0 bis 16 einzusetzen, was jedoch ein grosser Fehler wäre. Die Sätze 1, 2, 3 führen auf die richtige Auffassung der massgeblichen Beziehungen. Zur Controle mag übrigens eine andere weitläufigere Berechnung dienen.

Sicher findet man die ganze mechanische Arbeit durch Addition aller in den einzelnen Kanälen aufzuwendenden mechanischen Arbeiten. Man kann nun mit Benützung des allgemeinen Ausdrucks

$$E = p\,Q\,v$$

durch allmähliches Summiren der allgemeinen Ausdrücke für die mechanischen Arbeiten von E_0 bis E_{16} und durch entsprechende Substitutionen nach den Sätzen 1, 2, 3 die Schlussgleichung finden:

$$E_t = E_0 + E_1 + E_2 + \ldots + E_{15} + E_{16} = (p_9 + p_{10} + p_{15} + p_{16})\,Q_{16}\,v_{16}.$$

Oder man berechnet die einzelnen Zahlenwerthe von E_0 bis E_{16}. Dieses mag hier noch deshalb geschehen, weil die Vergleichung der einzelnen mechanischen Arbeiten von gewissem Interesse ist.

In der Gleichung $E = p\,Q\,v$ ist hier:

$$p = \gamma \frac{v^2}{2g} F.$$

Demnach
$$E = \gamma \frac{v^2}{2g} F Q v = \frac{\gamma}{2g} F Q v^3.$$

Für die Lufttemperatur 0° und mit Einsetzung des Werthes für $2\,g$ wird

$$E = \frac{1{,}297}{19{,}62} F Q v^3 = 0{,}066\, F Q v^3.$$

So erhält man mit Benützung der oben berechneten Einzelwerthe folgende Resultate:

$E_0 = 0{,}066 \,.\, 4{,}849 \,.\, 0{,}02 \,.\, 1^3 = 0{,}006$ Sec. m kg
$E_1 = 0{,}066 \,.\, 3{,}825 \,.\, 0{,}08 \,.\, 1{,}126^3 = 0{,}028$,, ,, ,,
$E_2 = 0{,}066 \,.\, 2{,}267 \,.\, 0{,}09 \,.\, 1{,}223^3 = 0{,}024$,, ,, ,,
$E_3 = 0{,}066 \,.\, 5{,}507 \,.\, 0{,}09 \,.\, 1{,}223^3 = 0{,}059$,, ,, ,,
$E_4 = 0{,}066 \,.\, 1{,}480 \,.\, 0{,}194 \,.\, 1{,}122^3 = 0{,}027$,, ,, ,,
$E_5 = 0{,}066 \,.\, 2{,}800 \,.\, 0{,}16 \,.\, 1{,}428^3 = 0{,}086$,, ,, ,,
$E_6 = 0{,}066 \,.\, 3{,}760 \,.\, 0{,}04 \,.\, 1{,}081^3 = 0{,}012$,, ,, ,,
$E_7 = 0{,}066 \,.\, 3{,}280 \,.\, 0{,}16 \,.\, 1{,}157^3 = 0{,}058$,, ,, ,,
$E_8 = 0{,}066 \,.\, 1{,}556 \,.\, 0{,}342 \,.\, 1{,}311^3 = 0{,}079$,, ,, ,,
$E_9 = 0{,}066 \,.\, 2{,}26 \,.\, 0{,}196 \,.\, 2{,}161^3 = 0{,}295$,, ,, ,,
$E_{10} = 0{,}066 \,.\, 3{,}008 \,.\, 0{,}5 \,.\, 0{,}848^3 = 0{,}062$,, ,, ,,
$E_{11} = 0{,}066 \,.\, 1{,}90 \,.\, 1{,}126 \,.\, 1{,}341^3 = 0{,}038$,, ,, ,,
$E_{12} = 0{,}066 \,.\, 5{,}96 \,.\, 0{,}031 \,.\, 1{,}253^3 = 0{,}024$,, ,, ,,
$E_{13} = 0{,}066 \,.\, 1{,}80 \,.\, 0{,}071 \,.\, 1{,}823^3 = 0{,}051$,, ,, ,,
$E_{14} = 0{,}066 \,.\, 3{,}16 \,.\, 0{,}126 \,.\, 1{,}028^3 = 0{,}028$,, ,, ,,
$E_{15} = 0{,}066 \,.\, 1{,}61 \,.\, 1{,}19 \,.\, 0{,}875^3 = 0{,}061$,, ,, ,,
$E_{16} = 0{,}066 \,.\, 2{,}56 \,.\, 0{,}785 \,.\, 1{,}326^3 = 0{,}309$,, ,, ,,

$E_0 + E_1 + E_2 + \ldots + E_{15} + E_{16} = 1{,}242$ Sec. m kg.

Dieses Resultat stimmt mit dem in obiger Gleichung III auf kürzerem Wege gefundenen überein.

Im Obigen ist die Lufttemperatur im ganzen Leitungssystem und aussen zu 0° angenommen. Ist sie höher oder niedriger anzunehmen, so ist für γ anstatt 1,297*) das betreffende Luftgewicht (nach der Tabelle S. 1056) zu setzen. Die mechanische Arbeit ergibt sich dieser Gewichtsänderung proportional.

Es kommt jedoch nicht leicht vor, dass die Lufttemperaturen in der ganzen Leitung und ausserhalb gleich sind. Schon an kühlen Sommertagen, mehr in den Nächten, noch viel mehr im Winter erfolgt, bei Drucklüftung mit tief stehendem Ventilator beispielsweise, ein Emportrieb in der gewünschten Richtung. Dieser Emportrieb kann, besonders wenn zwischen den horizontalen und verticalen Kanälen Lufterwärmungsapparate, Heizkammern eingeschaltet sind, zeitweise so günstig wirken, dass der nothwendige Aufwand an mechanischer Arbeit bedeutend geringer wird, der mechanische Ventilator sogar zeitweise entbehrlich werden kann.

*) Den Werth 1,297 habe ich der Fischer'schen Tabelle (Handbuch der Architektur, 1881, 4. Bd. S. 75) entnommen. Nach der allgemeinen Formel auf derselben Seite ist 1,293 richtiger, so auch von mir in Uebereinstimmung mit meinen älteren Angaben (S. 29 und an anderen Stellen dieses Buches) in die Tabelle S. 1056 eingesetzt. Auf die obigen und noch folgenden Berechnungen hat natürlich dieser Unterschied keinen erheblichen Einfluss.

Dieses kann sich auch ergeben, wenn bei der Anwendung des oben dargestellten Kanalsystems für Sauglüftung der Kanal 16 mit einem erwärmten Schornstein in Verbindung gebracht ist. Bei anderer Anwendungsweisen und Zuständen tritt dagegen die Nothwendigkeit einer Vergrösserung der mechanischen Arbeit ein, um einen nach entgegengesetzter Richtung wirkenden Emportrieb zu überwinden; so namentlich im Sommer bei Drucklüftung mit eingeschalteten Luftkühlvorrichtungen, im Winter bei Sauglüftung, wenn durch lange Verticalkanäle die warme Abluft abwärts zu führen ist.

Nach den in dieser und voriger Abhandlung gegebenen Erklärungen und Formeln lassen sich die erwähnten wie auch andere Einflüsse in der Rechnung berücksichtigen.

Weniger Bedeutung haben beiderseitige Temperaturänderungen. Wäre die Temperatur im Freien und in den Leitungskanälen 10° anstatt 0°, also das Gewicht von 1 cbm Luft $\gamma_{,} = 1{,}252$ anstatt $\gamma = 1{,}297$, so wäre die mechanische Arbeit bei gleichen Luftgeschwindigkeiten anstatt 1,242 Sec. m kg:

$$E_t = 1{,}242\,\frac{1{,}252}{1{,}297} = 1{,}199 \text{ Sec. m kg.}$$

Es soll nun unter Beibehaltung dieser Temperatur 10° und der obigen Geschwindigkeiten der Kanal 16 derart mit einem warmen Lüftungskamin (Kanal 17) verbunden sein, dass der ganze Emportrieb für Bewegung der Luft in den Kanälen 0 bis 17 wirksam ist. Dieser Lüftungskamin sei 20 m hoch, die Luft werde darin von 10° auf die mittlere Temperatur 30° erwärmt, und die Geschwindigkeit sei dieselbe wie im Kanal 16, also 1,326 m. Dann muss, da 1 cbm Luft von 30° das Gewicht $\gamma_{,,} = 1{,}168$ kg hat, der Kamin den Querschnitt haben

$$Q_{17} = \frac{Q_{16}\cdot\gamma_{,}}{\gamma_{,,}} = \frac{0{,}785\,.\,1{,}252}{1{,}168} = 0{,}841 \text{ qm}$$

und der Durchmesser des kreisförmigen Querschnitts ist

$$d = \sqrt{\frac{4\,.\,0{,}841}{3{,}14}} = 1{,}035 \text{ m.}$$

Der Widerstandsfactor des Kamins wird, wenn man, um verschiedene Unregelmässigkeiten auszugleichen, einen grossen Reibungscoëfficienten, nämlich $K = 0{,}02$ und für die Richtungsänderung $\gamma_{,,}\,\frac{v_{17}^2}{2g}\,.\,1$ setzt:

$$F_{17} = 1 + 0{,}02\,.\,20\,\frac{4}{1{,}035} = 2{,}546.$$

Mit Rücksicht auf den in günstiger Richtung wirkenden Emportrieb

wird nun die Pressung auf 1 qm Querschnitt im Kamin anstatt des obigen Werthes in Gleichung II:

$$p = 20\,(\gamma_{\prime} - \gamma_{\prime\prime}) - \left(\frac{\gamma_{\prime}}{\gamma} \,.\, 1{,}1928 + \frac{\gamma_{\prime\prime}}{2\,g} \,.\, v_{17}{}^2 F_{17}\right)$$

$$p = 20\,(1{,}252 - 1{,}168) - \left(\frac{1{,}252}{1{,}297} \,.\, 1{,}1928 + \frac{1{,}168}{19{,}62} \,.\, 1{,}326^2 \,.\, 2{,}546\right)$$

$$p = 0{,}2621.$$

Dieser Ueberdruck ist in der günstigen Richtung des Emportriebs nach Ueberwindung der Widerstände noch vorhanden. Der auf die mittlere Temperatur 30° erwärmte Schornstein bietet also einen Ueberschuss von Kraft, so dass im vorliegenden Falle der mechanische Ventilator entbehrlich ist und für die verlangte Lüftung schon eine geringere Temperaturerhöhung im Kamin genügt. Die mittlere Kamintemperatur mag als eine entsprechende angenommen werden, wenn die Temperatur im unteren Theile des Kamins 30° ist. In diesem Falle sind nach Obigem in 1 Secunde 1,044 cbm, in 1 Stunde 3758 cbm Luft von 10° oder

$$3758 \,.\, 1{,}252 = 4705 \text{ kg}$$

Luft um 20° zu erwärmen. Dazu sind nöthig

$$4705 \,.\, 0{,}24 \,.\, 20 = 22584 \text{ Wärme-Einheiten.}$$

Diese Wärmemenge könnte nun erzeugt werden durch Verbrennung von etwa $4^1/_2$ cbm Leuchtgas*) mit Anwendung von etwa 30 grossen Brennern oder einer grösseren Anzahl kleinerer. (§§ 99, 183, 269 ds. Bs.) Der Betrieb der Lüftung wäre aber hierbei der nöthigen Arbeit eines Mannes gegenüber verhältnissmässig theuer; bei einem Gaspreise von 15 Pfg. pro Kubikmeter würde er 68 Pfg. betragen, während der Handbetrieb höchstens die Hälfte kosten würde. Dagegen würden sich die Kosten bei Verwendung von Steinkohlen oder Koks für die Erwärmung des Lüftungskamins nur etwa auf den dritten Theil des Handbetriebs belaufen.

Wenn hiermit nachgewiesen ist, dass man mit Lüftungskaminen sowie mit kleinen Ventilatoren und Handbetrieb ausgiebigen Luftwechsel erreichen kann, so ist doch, wo sehr grosse Luftmengen zu wechseln sind und es auf die Regelmässigkeit des Betriebes besonders ankommt, die mechanische Ventilation mit Anwendung von Gasmotoren oder

---

*) Nach neueren Versuchen von A. Witz in Lille ergab sich für gutes Leuchtgas im Mittel eine Verbrennungswärme von 5164 Wärmeeinheiten für 1 cbm. Früher hat man nach Berechnung im Mittel 6286 angegeben. (Annales des chimie et physique VI sér. 1885, tome VI. — Journal für Gasbeleuchtung 1886, No. 10, S. 286. — Zeitschrift des Archikten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover 1887, S. 48. — Gesundheits-Ingenieur 1887, S. 131.)

Dampfmaschinen am rechten Platze. Wie viel Pferdekraft ein solcher Motor haben muss, ergibt sich in jedem besonderen Falle durch die gezeigte Berechnungsweise.

Sechste Abhandlung.

Die Gasheizung.

In den Paragraphen 269 und 270 ds. Bs. habe ich die Gasheizung nur kurz behandelt. Ich konnte ihre Anwendung nicht besonders empfehlen, weil mir kein in jeder Beziehung tadelloser Gasheizofen bekannt war, namentlich die Verbreitung der Verbrennungsproducte in den Zimmern mit den zeitgemässen und berechtigten Bestrebungen, in Wohnräumen eben so für reine Luft wie für angenehme Temperatur zu sorgen, nicht im Einklang stand, und ferner, weil die Gasheizung, besonders wenn auch noch für reine Luft gesorgt werden sollte, zu kostspielig war.

Nachdem aber nun die Gasheizapparate bedeutend verbessert worden sind und die meisten Gasanstalten das Leuchtgas für Heiz- und Kochzwecke alsbald zu ermässigtem Preise ablassen werden, wie es in mehreren Städten bereits geschieht, steht für die nächste Zeit die vielseitige Anwendung der Gasheizung ausser Zweifel, und sehr berechtigt ist in vielen Fällen schon jetzt die Frage, ob man nicht Gasheizung einer andern Heizweise vorziehen soll.

Hier in Nürnberg kostet 1 Kubikmeter Leuchtgas 20 Pfg.; wenn aber der Gasconsument zum Zwecke der Heizung eine gesonderte Gasuhr aufstellen lässt, wird ihm das Heizgas nur mit 15 Pfg. verrechnet.

In Brüssel wird das Gas zum Kochen und Heizen bei Tage sogar zum halben gewöhnlichen Preise abgegeben, nämlich zu 10 Cent. für 1 Kubikmeter, während das nächtlich gelieferte Leuchtgas 20 Cent. kostet.

Auch in anderer Weise geht die Stadt Brüssel mit gutem Beispiel voran. Von ihr war für den 1. October 1886 eine Preisconcurrenz ausgeschrieben, und zwar mit 6000 Fr. für den besten Gaszimmerofen und 3000 Fr. für einen bürgerlichen Gaskochapparat. Ueber die Ergebnisse dieses Preisausschreibens werden wohl die Zeitschriften in Bälde inter-

essante Berichte bringen, nachdem im Laufe dieses Winters die Apparate praktisch geprüft sein werden.

Wenn man bedenkt, wie oft und lange bei Verwendung von Holz, Torf, Kohlen, Koks das Feuer noch im Ofen fortbrennt, wenn keine Heizung mehr nothwendig ist, und im Kochherde, wenn nichts mehr zu kochen ist, so wird man schon annehmen können, dass man bei Verwendung von Gas, wovon man eben ohne Mühe und Umstände nur so viel verbrennt, als man gerade braucht, zuweilen noch eine Ersparung erreicht, im Durchschnitt nicht viel grössere Kosten hat als für ein anderes Brennmaterial.

Eine Zusammenstellung mehrerer für das Kochen mit Gas von Fachmännern, wie Coglievina*), Wobbe**), Stawitz***), Wehle†) u. A. aufgestellten Kostenberechnungen liefert den zuverlässigen Nachweis, dass bei einem Preise von 15 Pfg. für 1 Kubikmeter eine Mittelstandsfamilie von 5 Personen für die Zubereitung aller Speisen und Getränke nebst dem nöthigen Spülwasser monatlich höchstens 7 Mark aufzuwenden braucht.

In die Augen springende Annehmlichkeiten und Vortheile ferner, die auch einen Geldwerth darstellen, sind bei der Gasfeuerung: Kein Raumbedürfniss für Lagerung von Feuerungsmaterial, kein Transport für solches, kein Wegschaffen von Asche, keine Reinigung der Oefen und Kochherde von Russ, kein Zeitverlust für das Feuermachen und Nachschüren, grösste Sauberkeit, Bequemlichkeit und Raschheit des Heizens und Kochens. Die sehr einfache Regelung des Gasausflusses durch Drehung der Gashähne ermöglicht nach Belieben und Bedürfniss schneller oder langsamer zu heizen und zu kochen, zu backen und zu braten, das Ueberkochen und Anbrennen der Speisen zu vermeiden.

Nicht ganz so vortheilhaft jedoch, wie für das Kochen, erscheint die Benützung von Gas für Zimmerheizung, weil da anderes Brennmaterial in der Regel besser ausgenützt wird als in der Küche. Am rechten Platze sind aber Gasöfen in Räumen, die nur zeitweilig benützt werden und dann rasch warm sein sollen. Ferner wird man sie, wo es auf die Heizkosten weniger ankommt, wegen der erwähnten Vortheile, namentlich wegen der leichten Regelung der Temperatur und wegen der

*) D. Coglievina, Ingenieur. Das Leuchtgas als Wärmequelle im Haushalt. Wien 1885, S. 9.

**) J. G. Wobbe, Ingenieur und Gasdirector. Die Verwendung des Gases zum Kochen, Heizen und in der Industrie. München 1885, S. 26.

***) Stawitz, Director. Ein in Tilsit ausgegebenes Circular.

†) Mittheilungen von Otto Wehle zu Düsseldorf über seine Gaskochherde bei der im Juni 1886 in Eisenach abgehaltenen und mit einer Ausstellung von Gas-Koch- und Heizapparaten verbundene Versammlung des Deutschen Vereins von Gas- und Wasserfachmännern.

Vermeidung von Rauch, Russ und Staub gewöhnlichen Zimmeröfen vorziehen.

Hauptbedingung bei einem Gasofen für Zimmerheizung ist jedoch, dass die Verbrennungsproducte sich nicht im Zimmer verbreiten. Als ein solcher Ofen hat sich seit einigen Jahren der von Robert Kutscher in Leipzig vielfach bewährt. Da dieser Ofen auch als Ventilations-Gasofen von Zschetzschingck*) aufgeführt wird, mag hier zur Aufklärung erwähnt werden, dass der Erfinder des Ofens H. Zschetzschingck, in Firma Robert Kutscher ist, das Patent aber auf den Namen dieser Firma genommen wurde.

Die „Principien des Systems" sind nach der mir vorliegenden Geschäfts-Broschüre:

1) Auf kleinstem Raum die grösstmögliche Heizfläche zu schaffen und durch dieselbe eine rasche und rationelle Wärmeausnutzung zu erreichen.

2) Glühhitze auszuschliessen, so dass kein Theil des Heizkörpers glühend und die Luft dadurch verschlechtert werden kann.

3) Vollständige Geruchlosigkeit der Heizung durch Ableiten der verbrannten Gase und damit verbunden eine nach Höhe des Bedarfs jeden Augenblick regulirbare Ventilation.

4) Automatische Regulirung der Gaszuströmung und Luftableitung, und Sicherstellung derselben gegen unbefugte Hände.

5) Heizbrenner mit hoher Leistung und verwendbar für beliebige Druckhöhe sowohl, als für leichtes wie schweres Gas.

Diesen Anforderungen ist durch den Ofen von Zschetzschingck im Wesentlichen entsprochen; was jedoch unter 3) in Betreff der Ventilation gesagt ist, wird nur in beschränkter Weise erreicht, wie weiterhin erörtert werden soll.

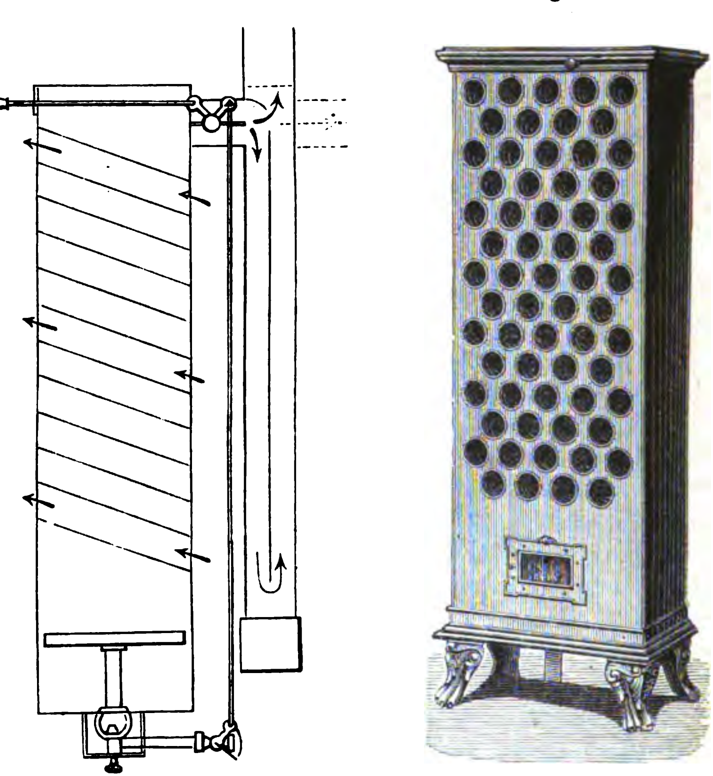
Das Hauptsächliche der Construction, wodurch sich dieser Ofen von anderen Gasöfen unterscheidet, besteht darin, dass in einem allseitig geschlossenen nur unten offenen Blechprisma eine grosse Anzahl neben und über einander liegender beiderseits offener Röhren eingesetzt sind, welche von der Hinterwand nach der Vorderwand des Ofens ansteigen. (Fig. 20.) Durch die sie umgebend aufsteigenden heissen Verbrennungsgase werden sie gut erwärmt, und der durch die schräge Lage hervorgebrachte Ueberdruck bewirkt fortwährendes Einströmen der kälteren Zimmerluft an der Rückseite und Ausströmen der erwärmten Luft an der Vorderseite. Durch die vielfache Vertheilung und wenig ansteigende Richtung der ausströmenden

*) Th. Schwartze, Ingenieur. Katechismus der Heizung, Beleuchtung und Ventilation. Leipzig 1884, S. 105.

Luft wird eine willkommene Mischung der Luftschichten und eine ziemlich gleichmässige Erwärmung des Zimmers erreicht. Dabei ist die Wärmestrahlung nicht so stark, dass sie unangenehm wird.

Der Gasverbrauch ist nach der erwähnten Broschüre für Erwärmung eines Zimmers von 100 Kubikmeter Rauminhalt je nach Lage und Aussentemperatur im Durchschnitt auf 250 bis 400 Liter stündlich anzunehmen.

Fig. 20. Fig. 21.

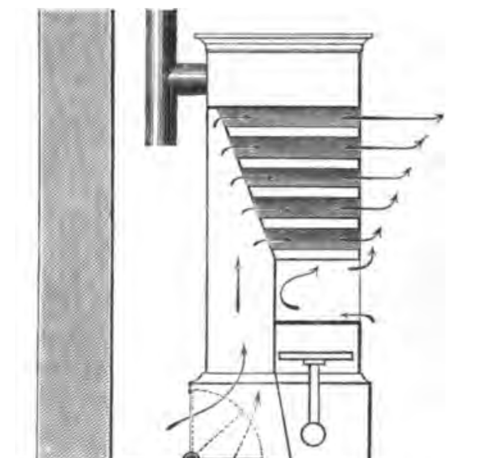


Solche Oefen sind hier in Nürnberg in der das Restaurationsgebäude des Stadtparks umgebenden geschlossenen Vorhalle aufgestellt, wo ich Gelegenheit hatte, ihre gute Wirkungsweise zu beobachten. Die Erwärmung ist eine angenehme und genügende, wenn die Oefen gross genug gewählt werden. Der sonst mit der Gasheizung verbundene lästige Geruch ist nicht vorhanden, da die Verbrennungsproducte vollständig abgeführt werden. Auch eine nicht zu unterschätzende Luftverbesserung wird mit diesen Oefen dadurch erreicht, dass zugleich mit den verbrannten Gasen Zimmerluft

abzieht und zwar jedenfalls eine viel grössere Menge als bei einem gewöhnlichen im Zimmer geheizten Ofen. Da eine gleich grosse Menge frischer Luft durch Thüren, Fenster und Wände eindringen muss, hält der Erfinder die Bezeichnung „Ventilations-Gas-Ofen“ für vollkommen berechtigt.

Der Ofen von Zschetzschingck, welcher in verschiedenen Gestalten und Grössen ausgeführt wird, wovon Fig. 21 ein Beispiel in der Ansicht zeigt, ist nach dem Gesagten sehr empfehlenswerth; er wird in Bezug auf Leistungsfähigkeit und sanitäre Anforderungen kaum von einem andern bekannten Gasofen-System übertroffen. Dennoch glaube ich, dass er noch verbessert werden kann. Für die möglichst gute Erwärmung der unteren Zimmerschichten und gleichmässige Erwärmung überhaupt wäre die von hinten nach vorn abwärts gerichtete Lage der Röhren am zweckmässigsten, wenn die zu erwärmende Luft mit grossem Ueberdruck durch die Röhren getrieben würde. Aber auch die horizontale Lage der Röhren ist zweckmässiger als die nach vorn ansteigende insofern, als bei horizontaler Strömung der warmen Luft in den Zimmerraum die Mischung der Luftmassen besser erfolgt, als wenn die Strömung schon an der Mündung aufwärts gerichtet ist. Aus demselben Grunde und namentlich wegen der besseren Erwärmung des Fussbodens ist es vortheilhafter, die kälteste Zimmerluft vom Fussboden ab in den Ofen zu führen als in grösserer Höhe die wärmere Luft hinter dem Ofen. Beides lässt sich erreichen durch Herstellung eines geschlossenen und nur unten offenen Luftzuführungsraums hinter dem Ofen. (Fig. 22.) Bei Anwendung horizontaler Röhren, die hinten wie vorn unmittelbar mit der Zimmerluft von gleicher Temperatur in Verbindung stehen, kann wegen des fehlenden Ueberdrucks keine entschiedene Luftströmung entstehen, die Luft würde

Fig. 22.



trotz sehr starker Erhitzung der Röhren nur träge beiderseits in den oberen Hälften entweichen, während kalte Luft in die unteren Hälften einfliesst. Alsbald würde aber die Luft hinter dem Ofen wegen der warmen Strömung und Wärmestrahlung gegen die nahe Zimmerwand etwas wärmer sein als an der Vorderseite, dann fliesst die Zimmerluft etwas rascher vorn ein und hinten aus, was dem Zwecke zuwiderläuft. Wenn aber der für die gemeinsame Luftzuführung zu den Röhren dienende Hinterraum vorhanden, auch weit genug ist und unten eine hinlänglich grosse Oeffnung gegen das Zimmer hat, so ist der Ueberdruck in der gewünschten Richtung bedeutend grösser als bei den schrägen Röhren, und folglich muss die Luft schneller durch die horizontalen Röhren mit Hinterraum strömen, als durch die schrägen Röhren ohne Hinterraum.

Damit werden ausser der bezweckten gleichmässigeren Erwärmung noch weitere Vortheile erreicht. Je schneller die zu erwärmende Luft durch die Röhren fliesst, desto mehr Wärme wird dem Heizgas entzogen, desto besser also dieses ausgenützt und das Zimmer erwärmt, aber, wie es sein soll, mehr in den unteren Schichten und weniger in den oberen als bei dem Ofen ohne Hinterraum. Denn in dieser Hinsicht wirkt eine grosse strömende Luftmenge von mässiger Temperatur günstiger, als eine kleinere von höherer Temperatur.

Wenn nun der Ofen mit einem oben geschlossenen und unten offenen Hinterraum für Luftzuführung versehen ist, so liegt es nahe, diesen Hinterraum mittels eines angeschlossenen Kanals auch mit der Aussenluft in Verbindung zu setzen und eine Klappe anzubringen, welche sowohl auf Ventilation als auf Circulation als auch auf Zwischenlagen eingestellt werden kann, so dass es möglich ist entweder nur Bodenluft des Zimmers oder frische Luft oder eine beliebige Mischung beider zu erwärmen. Mit dieser Einrichtung erst wird der Ofen zu einem richtigen Ventilations-Ofen; denn bei dieser Bezeichnung pflegt man vor Allem an die Einführung frischer erwärmter Luft durch den Ofen zu denken.

Der „Ventilations-Gas-Ofen" von Zschetzschingck bewirkt aber die Einführung principiell nicht anders als ein gewöhnlicher im Zimmer geheizter Ofen, nur in höherem Masse. Er führt mehr Luft ab, es fliesst demnach auch mehr Luft durch die unvermeidlichen Oeffnungen zu. Aber das Eindringen dieser kalten Luft wird trotz der verhältnissmässig guten Luftbewegung und Luftmischung mitunter von einem unangenehm kalten Zug durch die Fensterfugen begleitet sein, und ein grosser Theil dieser kalten reinen Luft fliesst über den Fussboden, diesen abkühlend, dem Ofen zu und entweicht, ohne sich viel mit schlechter Luft gemengt

zu haben, durch diesen. Eine ausgiebige und rationelle Ventilationsheizung ist das nicht, wenngleich die Vergleichung der Luftbeschaffenheit hierbei mit jener in anderen nicht oder schlecht gelüfteten Räumen zu ihren Gunsten ausfällt.

Zu erwähnen ist wohl auch, dass das wenig schöne Aussehen des Ofens mit den vielen Löchern Veranlassung gegeben hat, ihn mit verschiedenartig decorirten Mänteln auszustatten, wie ein solcher in Fig. 23

Fig. 23.

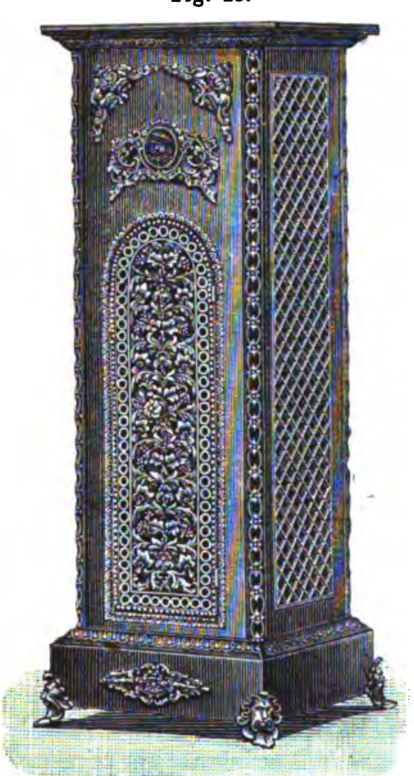
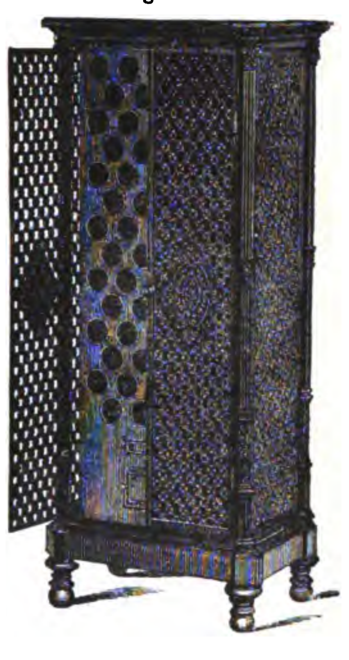


Fig. 24.



dargestellt ist. Diese Mäntel hemmen jedoch, obwohl sie durchbrochen sind, die vortheilhafte Luftströmung, vermindern die gute Luftmischung.

Als Verbesserung in dieser Hinsicht sowie auch wegen leichterer Reinigung der Luftröhren von Staub ist zu bezeichnen, dass diese Mäntel jetzt auch mit Thüren an der Vorderseite angefertigt werden, wie Figur 24 zeigt. Allein bei geöffneten Mantelthüren bietet sich wieder der Anblick, den man verbergen will. Man wird aus diesem Grunde oder auch aus Vergesslichkeit oder Gleichgültigkeit diese Mantelthüren selten öffnen.

Der mantellose Ofen ist daher zweckmässiger, und er dürfte einen besseren Anblick dann schon bieten, wenn Röhren von kreisförmigem und länglichem Querschnitt mit regelmässiger Abwechslung zusammengestellt werden, etwa wie in den Figuren 25 und 26 angedeutet. Die Heizwirkung wird dabei keine schlechtere sein als bei Röhren von kreisförmigem Querschnitt. Dieser ist zwar insofern zweckmässig, als er bei bestimmtem Umfang der grössten Luftmenge den Durchfluss gestattet. Aber für die Aufnahme der Wärme von den emporsteigenden Heizgasen sind Kreiscylinder weniger geeignet als Röhren mit grösseren Horizontaldimensionen.

Die horizontalon Böden der Heizröhren können dazu dienen, verschiedene Gegenstände zu erwärmen oder warm zu halten; so in Esszimmern leere und gefüllte Teller, in Schlafzimmern Wäsche, Wasch-

Fig. 25.

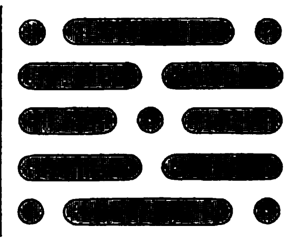
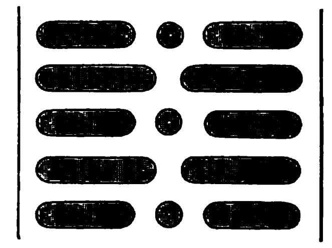


Fig. 26.



wasser, Bettwärmer, in Krankenzimmern Aufschläge, Milch, Thee u. dgl. Ausserdem eignen sie sich auch gut zur Einstellung flacher Wassergefässe zur Luftbefeuchtung.

Für die meisten Haushaltungen ist es erwünscht, eine grössere Wärmeröhre, einen Kochkasten, am Ofen zu haben, um Wasser für Kaffee, Thee zum Sieden zu bringen, auch grössere Gefässe mit Waschwasser oder mit gewissen Speisen und Getränken warm zu halten. Eine Wärmeröhre ist bei einer Sorte der Oefen von Zschetzschingck angebracht, aber im oberen Theil des Ofens über mehreren Reihen von Heizröhren. Zweckmässiger wird es sein, sie zu unterst, unmittelbar über den Flammen anzubringen, das um so mehr bei horizontaler Lage der Heizröhren mit Hinterraum, weil hierbei die Stärke der Luftströmung von der Höhenlage abhängt. Aus den untersten Heizröhren fliesst die Luft nicht so rasch aus, als aus den oberen, aber mit höherer Temperatur, aus den oberen weniger warm aber mit grösserer Geschwindigkeit und weiter horizontal in das Zimmer fortströmend, so dass auch die von unten em-

porkommende heissere Luft mehr horizontal mit fortgerissen wird, also sich mehr mit der kälteren Zimmerluft mischt.

Zur Abführung der schlechteren Zimmerluft kann bei dem Ueberdruck besonderer Zuführung meistens der Ofen selbst nebst den zufälligen Oeffnungen des Raums genügen. Sehr erwünscht ist es, dass hierbei kein Einfliessen kalter Luft durch die Fensterfugen u. s. w. stattfindet, also der Fussboden nicht dadurch abgekühlt wird. In manchen Fällen ist es zweckmässiger, am Schornstein oder einem besonderen Abluftschacht in der Nähe der Decke eine Abflussöffnung mit Klappe, Thürchen, Rosette od. dgl. anzubringen, die nach Bedürfniss geöffnet wird.

Diese Gesammteinrichtung — in entsprechenden Grössenverhältnissen ausgeführt — wäre dann auch eine theilweise Lösung der vom Deutschen Verein von Gas- und Wasser-Fachmännern im December 1885 ausgeschriebenen, aber nicht befriedigend gelösten Preisaufgabe: „Die übergrosse Erwärmung geschlossener Räume durch die Gasflammen zu verhüten, beziehungsweise zu vermindern und die Abführung der Verbrennungsproducte des Gases zur Ventilation nutzbar zu machen.“

Wenn eine durch Gasflammen erhitzte grosse Luftmenge an der Decke abgeführt werden soll, muss eben so viel Luft eingelassen werden, und zwar am besten unten, um sie möglichst rein den Personen zum Athmen zu bieten. Diese Zuluft im Winter kalt und in vollem Strome einzulassen, ist unstatthaft. Durch den Ventilations-Gasofen mit Hinterraum kann sie nach Belieben wenig erwärmt, mit etwa 15° C, und in guter Vertheilung eingeführt werden. Für Versammlungsräume würden für diesen Zweck sehr lange niedrige Oefen besonders vortheilhaft sein.

Für Anwendungen, wo besondere Ventilation nicht nothwendig ist, kann die Klappe am Hinterraum durch einen einfachen Schieber ersetzt werden oder auch jede Schliessvorrichtung wegbleiben, was sogar mehr anzurathen ist, weil mitunter der Schieber nicht genug geöffnet sein könnte und dann die Röhren zu stark erhitzt würden, die Luftdurchströmung aber eine zu träge wäre.

Gegen diese Verbesserungsvorschläge kann man zwar zu Gunsten des Ofens von Zschetzschingck sagen, die Einführung sehr kalter Luft in die Heizröhren habe den Nachtheil, dass sich die Verbrennungsgase bereits innerhalb des Ofens condensiren, unangenehmen Wasserfluss verursachen und die Haltbarkeit des Materials nachtheilig beeinflussen würden; auch stehe den Einrichtungen für reichlichere Ventilation bei Gasöfen in Bezug auf grosse Einführung das Bedenken entgegen, dass bei den ohnehin hohen Gaspreisen, welche das Publikum in Deutschland zahlen muss, die Heizung zu sehr vertheuert würde.

Immerhin halte ich die von mir angegebenen Aenderungen für Verbesserungen, da man ja, wenn auch der Ofen für Luftzuführung eingerichtet ist, bei grosser Kälte die Ventilationsklappe nicht zu öffnen braucht, es häufig aber doch erwünscht sein wird, kräftig ventiliren zu können, wenn auch dabei die angenehme und gesunde Luft etwas theuer wird. Dass die Heizwirkung bei horizontalen Röhren mit entsprechend grossen und unten genügend offenem Hinterraum besser ist als bei den schrägen Röhren, glaube ich als unzweifelhaft annehmen zu dürfen.

Es liegt nahe, dass eine ähnliche Ofenconstruction auch für die Anwendung anderer Brennstoffe, die nicht oder wenig russen, zweckmässig sein wird, so z. B. für Holzkohlen, auch für Holz und Koks. Die Räume um die Röhren herum müssten freilich von Asche und Russ gereinigt werden können, was wohl keine unüberwindliche Schwierigkeit bietet.

Gasheizöfen sehr verschiedenartiger Constructionen findet man in den bereits genannten Schriften von Wobbe und Coglievina dargestellt und beschrieben, daselbst auch ausführliche Mittheilungen über die verschiedenen Brenner gegeben.

Schöne und gute Gasheizöfen werden auch von der Actiengesellschaft Schäffer u. Walcker in Berlin angefertigt: ein cylindrischer Ofen mit verborgenen Flammen, ein solcher mit Asbestherd, nämlich mit freien vor Asbestflocken brennenden Flammen, mit Messingreflectoren, welche den Feuerschein spiegeln, Saal- und Kirchenöfen von einfacher und verzierter Röhren- und Kastenform.*)

Dieser Abhandlung über Gasheizung mögen noch einige Bemerkungen über das sogenannte Wassergas eingefügt werden. Die Benennung ist schlecht gewählt; denn Wassergas ist doch richtig nur gasförmiges Wasser, und in dieser Bedeutung wurde es früher in der Wissenschaft häufig gebraucht, so auch von mir gleichbedeutend mit Wasserdampf oder Wasserdunst an mehreren Stellen dieses Buches (1860 und 1880). Seit einigen Jahren ist nun viel die Rede von einem „Wassergas", womit man ein Gasgemenge bezeichnet, welches dadurch gewonnen wird, dass man einen Strom von Wasserdampf in glühende Kohlen leitet. Dabei wird dieser Dampf in seine Bestandtheile Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt und ein hauptsächlich aus Wasserstoff und Kohlenoxyd bestehendes brennbares Gasgemenge gebildet, welchem die Technik zur

*) A. Hausding, Ingenieur. Die Heizungsanlagen u. s. w. der Actiengesellschaft Schäffer u. Walcker in Berlin. Berlin 1884.

Unterscheidung von dem gewöhnlichen, durch trockne Destillation der Steinkohlen gewonnenen Leuchtgas, den Namen Wassergas gegeben hat.

Ausser den genannten beiden, dem Darstellungszweck entsprechenden, brennbaren Gasen enthält das Wassergas noch unbrennbare Gase, welche seine Heizkraft vermindern, nämlich Kohlensäure und Stickstoff, zuweilen auch Wasserdampf. Diese unerwünschten Beimengungen treten, je nach der Darstellungsweise, in verschieden grossen Mengen auf. Da nämlich die Wasserzersetzung viel Wärme in Anspruch nimmt, wird die Temperatur der glühenden Kohlen herabgedrückt und muss durch theilweise Verbrennung dieser mit atmosphärischer Luft erhöht werden, um die Wassergaserzeugung im Gang zu erhalten. Man kann nun die Dampf- und Luft-Zuführung gleichzeitig oder abwechselnd vor sich gehen lassen. Ersteres geschieht bei Wilson's Wassergas-Generator; indem mit dem Dampfstrahl zugleich Luft einströmt, wird die Temperatur und damit die Entwickelung gleichmässig erhalten. Dagegen lassen Strong, Quaglio und Dwight zeitweise Luft eintreten zur Temperaturerhöhung und dann Wasserdampf zur Zersetzung. Dabei wird der Vortheil erreicht, dass man die ersteren, zumeist aus Kohlenoxyd und Stickstoff bestehenden Gase zur Heizung des Dampfkessels benützt, die letzteren, wesentlich aus Kohlenoxyd und Wasserstoff bestehenden aber nach dem Gasometer leitet.

Die Urtheile der Fachmänner über die Aussichten betreffs künftiger Anwendung des Wassergases sind getheilt. Im allgemeinen sind in neuester Zeit die Hoffnungen mehr herabgestimmt als gehoben. Indessen fehlt es nicht an günstigen Ergebnissen.

Wie Rössler und Ehrlich*) berichten, war 1883/84 in der Deutschen Gold- und Silber-Scheideanstalt in Frankfurt a. M. ein Wilson-Apparat im Gang, der jedoch ausser Betrieb kam, weil er sich für die Zwecke der Anstalt nicht genügend bewährt hat. Das Gas hatte im Durchschnitt die Zusammensetzung:

Kohlenoxyd	18	Volumenprocent
Wasserstoff	10	,,
Stickstoff	68	,,
Kohlensäure	4	,,

Seit 1885 wird in der Scheideanstalt Wassergas benützt, welches in der benachbarten Gasfabrik dargestellt, im Gasometer angesammelt und von dort geliefert wird.

---

*) Heiz- und Schmelzversuche mit Wassergas. Von Dr. H. Rössler und M. Ehrlich in Frankfurt a. M. Polytechnisches Notizblatt 1886 N. 82, S. 289.

Dieses Gas, welches den Anforderungen entspricht, hat die Zusammensetzung:

Kohlenoxyd	36	Procent
Wasserstoff	51	„
Stickstoff	7	„
Kohlensäure	4	„
Wasser	2	„

Wie leicht erklärlich, ist dieses viel heizkräftiger, als das durch Stickstoff so stark verdünnte Wilson-Gas.

Man hat durch Vergleichsversuche mit Anwendung des besseren Wassergases, obwohl davon für gleichen Zweck über die doppelte Menge gebraucht wurde als von gewöhnlichem Leuchtgas, gefunden, dass man beim Kochen und Verdampfen für ungefähr die Hälfte des Geldes dasselbe leisten kann, wenn man Wassergas anstatt Leuchtgas verwendet, und es besteht nach Ansicht der Berichterstatter kein Zweifel, dass bei grösserer regelmässiger Darstellung durch die Gasfabrik oder bei Selbstfabrikation das Wassergas noch beträchtlich billiger zu stehen kommen wird. Sicher werde auch in den nächsten Jahren die Fabrikation des Wassergases noch weiter vervollkommnet und dadurch für eine Reihe von Industrien die Einführung der Gasfeuerung ermöglicht.

Da, wie nachgewiesen, auch gutes Wassergas kaum die halbe Heizkraft des Leuchtgases hat, seine Herstellung verhältnissmässig theuer ist und die Consumkosten dadurch noch bedeutend erhöht werden, dass die Erzeugungs- und Sammel-Apparate, Zuleitungen, sowie die Heiz- und Kochapparate in entsprechend grösseren Dimensionen ausgeführt werden müssten, so ist doch schwerlich daran zu denken, dass in nächster Zeit das Wassergas an Stelle des Leuchtgases zum Kochen und Heizen ausgedehnte Verwendung findet.

Aber die Gasheizung überhaupt sei noch einmal empfohlen mit dem Ausspruche von C. W. Siemens:

„Es ist nur noch eine Frage der Zeit, dass die festen Brennstoffe durch luftförmige und namentlich durch das Steinkohlengas verdrängt werden müssen und dass dadurch der jetzt so kolossalen Verschwendung an Feuerungsmaterial ein Ziel gesetzt wird."

Siebente Abhandlung.

Die Carbon-Natron-Heizung und das Kohlenoxyd.

Im Inseratentheil viel gelesener Zeitungen und Wochenschriften, wie „Illustrirte Zeitung“, „Schorer's Familienblatt“, „Echo“, „Ueber Land und Meer“, „Kladderadatsch“, „Fliegende Blätter“ u. s. w. empfiehlt seit mehreren Jahren Alwin Nieske in Dresden „Oefen für Carbon-Natron-Heizung“. Eine solche stereotype Anzeige mit Abbildung eines Ofens lautet:

„Tragbare Oefen mit Carbonnatron-Heizung. Die Oefen brennen ohne Schornstein, rauch- und geruchlos und werden behördlich auch da gestattet, wo sonst Feuerungsanlage untersagt ist. Vielfache Anerkennungen. Diese Oefen functioniren ohne Beaufsichtigung und Bedienung Tag und Nacht vollst. gefahrlos. Kleinster Ofen, ca. 1 Mtr. hoch, incl. Füllung für ca. 2 Monate 30 M. — C.-Natron-Heiz-Co. Alwin Nieske, Dresden.“

Jetzt wird der Preis für den kleinsten Ofen zu nur 20 M. angegeben und der Preis eines Ofens für „Carbon-Heizung“ von Jacob Ravené Söhne in Berlin zu 18 M.

Das eigne Verlangen zu wissen, was von solcher Heizung zu halten sei — vermehrt durch einige an mich gerichtete Anfragen eben danach und durch günstige, aber von mir mit Misstrauen aufgenommene Beurtheilungen in Zeitschriften — veranlasste mich, bei Herrn Nieske einen kleinsten Ofen mit Füllung für 2 Monate nach Anzeige für 30 M. zu bestellen.

Meine Bestellung ging von Herrn Nieske zurück an dessen hiesigen Vertreter, und ich erhielt nach einiger Zeit einen solchen Ofen mit Rechnung wie folgt:

1 Carbon-Natron-Ofen No. 0	M. 35.—
3 Kilo Carbon-Natron	„ 1.—
1 Parthie Anzünder	„ —.20
$1\frac{1}{2}$ m Schlauch à M. 1.50	„ 2.25
Summe	M. 38.45

Zudem fehlt diesem Ofen, obgleich er in der Nieske'schen Broschüre als Propaganda-Ofen bezeichnet wird, der Natronsalz-Behälter, dessen Vorhandensein für die Bezeichnung Patent-Carbon-Natron-Ofen Bedingung sein müsste. Die Kohle als Carbon-Natron oder Natronkohle zu bezeichnen, ist völlig unbegründet. Der Ofen trägt oben einen kleinen Wasserkessel, in welchem der Natronsalz-Behälter, der besonders anzukaufen wäre, erhitzt werden soll. So angenehm und zweckmässig ein solcher Wärmeapparat, der Natronsalz-Behälter, als Fuss-, Hand-, Bett-, Teller-Wärmer u. s. w. sein mag, so ist er in der That für die Zimmerheizung von geringem Werthe. Seine Wirkung beruht darauf, dass beim Krystallisiren von Salzen, die in ihrem Krystallwasser geschmolzen sind, Wärme frei wird. Im vorliegenden Falle enthält der verhältnissmässig kleine Behälter eine Mischung von 1 Theil essigsaurem und 10 Theilen unterschwefligsaurem Natron.*) Während des Schmelzens in dem heissen Wasser auf dem Ofen nimmt diese Masse eine bestimmte Wärmemenge auf, die sie beim Festwerden wieder abgibt.

Meine Einsprache wegen des zu hohen Preises und fehlenden Natronsalz-Behälters hatte keinen Erfolg, und da ich in jedem Falle den Ofen ausprobiren wollte, behielt ich ihn. Mit zwei Probeheizungen von geringer Heizwirkung waren die 3 Kilogramm Carbon verbraucht, ich kaufte deshalb noch 25 Kilogramm davon, ins Haus geliefert für 7 M. 50 Pfg. Es ergab sich alsbald, dass ich, wenn ich Tag und Nacht fortheizen wollte, was für die wünschenswerthe Erwärmung nothwendig wäre, in zwei Monaten wenigstens für 30 M. Carbon brauchen würde, welcher Preis für den Ofen nebst Füllung für zwei Monate angegeben ist! Das könnte indessen als nebensächlich gelten, wenn die Heizung gut und ohne Nachtheil für die Gesundheit wäre.

Ich stellte den Ofen in ein kleines Zimmer von 35 Kubikmeter und liess den für die Ableitung der Verbrennungsproducte bestimmten Schlauch durch zwei kleine Ausschnitte an einer unteren Ecke des doppelten Fensters ins Freie gehen.

Das Anzünden des Carbons gelang leicht, und die Stücke kamen rasch zum Glühen, aber bei unterbrochener Heizung war es mit lebhafter halbtägiger Feuerung nicht möglich, bei einer Aussentemperatur von 0° die Zimmertemperatur über 10° zu bringen, wenn sie auch schon vorher 5° war, oder überhaupt die Zimmertemperatur um mehr als 5 Grad zu erhöhen. Dabei war Kohlendunst nicht nur wahrnehmbar, sondern oft

*) Dingler's Journal, 1885, Band 256, S. 31. Ferner: Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover, 1886, Heft I, S. 41.

recht lästig, Unbehagen und Uebelbefinden erregend. Das ist leicht erklärlich. Zur Ableitung der Verbrennungsproducte genügt der Ofenschlauch nicht. Mit der mässig warmen Luftsäule im Zimmer steht kein wärmerer Schornstein in Verbindung, sondern eine äussere kältere Luftsäule, so dass ein Ueberdruck von aussen nach innen anstatt umgekehrt vorhanden ist, und nur bei besonders günstiger Richtung und Stärke des Windes, welcher die Luft am Schlauchende wegreisst und verdünnt, der Abzug aus dem Schlauch erfolgt, in der Regel aber nicht, dass vielmehr die Aussenluft durch den Schlauch eindringt, um so mehr, wenn der Wind gegen die Schlauchmündung gerichtet ist. Man darf sich daher nicht wundern, zu vernehmen, dass diese Oefen häufig ohne Gummischlauch benützt werden und dann eben so gut brennen. Aber die sich im Zimmer verbreitenden Verbrennungsproducte sind in jedem Falle gesundheitsschädlich.

Bei einem Heizversuche, als ich den Abzugsschlauch benützte und bei günstiger Windrichtung den Abzug dadurch constatirte, dass die am Schlauchende entnommene Luft 12 Procent Kohlensäure enthielt, stieg der Kohlensäuregehalt im Zimmer bei Verbrennung von 1 Kilogramm Carbon in sieben Stunden auf 10 Promille, und ich vermuthete aus dem etwas erschwerten Athmen und Sprechen, dem eingenommenen Kopf und momentanen, wenn auch nur leichten Schwindelempfindungen, dass auch Kohlenoxyd vorhanden sei. Möglicher Weise beruhten jene Empfindungen auf Einbildung, da in Nieske's Prospect behauptet ist, es bilde sich absolut kein Kohlenoxyd.

Die Richtigkeit dieser Behauptung muss wohl von vorn herein bezweifelt werden. Die sogenannte Natron-Kohle ist eine aus gepulverter Buchenholzkohle gut präparirte Presskohle, hat mit Natron nicht mehr gemein wie jene, verbrennt ebenso und mit denselben Verbrennungsproducten. Die Verbrennung findet bei dieser wie bei jener nicht dauernd unter so günstigen Umständen statt, dass sie ohne Kohlenoxydbildung vor sich geht.

Ich überzeugte mich auch direct auf möglichst einfache Weise von der Gegenwart dieses giftigen Gases, nämlich durch Anwendung sehr verdünnter Blutlösungen, d. h. mit destillirtem Wasser, welches ich mit einigen Tropfen frischen Blutes gefärbt hatte.

Um das Auge für die ohne Spectroskop auszuführende Unterscheidung der Kohlenoxydwirkung auf das Blut einzuüben, füllte ich — auf gütigen Rath des Herrn Regierungsrath Dr. Wolffhügel — ein etwa 100 Kubikcentimeter fassendes Glaskölbchen mit Leuchtgas, welches bekanntlich ziemlich viel Kohlenoxyd enthält, gab dazu 3 Kubikcentimeter der Blutlösung und schüttelte. Dann goss ich diese Blutlösung in ein Proberöhrchen

69*

und verglich sie mit einer gleich dicken Schicht der Blutlösung, welche mit Kohlenoxyd nicht in Berührung gekommen war. Es war eine entschiedene Farbänderung zu erkennen. Aehnliche Farbänderung fand ich auch mehrmals, wenn ich auf einer flachen Schale etwas Blutlösung einige Stunden in dem mit dem Carbonofen geheizten Zimmer stehen liess und die Vergleichung wie erwähnt vornahm.

Mit diesem qualitativen Nachweis des Kohlenoxyds jedoch nicht zufrieden wollte ich den Grad der möglichen schädlichen Wirkung solcher Luft auf den menschlichen Organismus durch weitere Experimente auffinden. Ich that dieses unter Benützung und mit Herbeiführung von Umständen, welche für den Luftwechsel und die kohlenoxydfreie Verbrennung ungünstig, für meinen Zweck aber gut geeignet waren.

Am 21. März 1886, einem nicht kalten, daher für den natürlichen Luftwechsel durch die unvermeidlichen Oeffnungen ungünstigen Tage, Nachmittags 3 Uhr entzündete ich wieder 1 Kilogramm Carbon im Ofen, liess den Abzugsschlauch weg, öffnete und schloss abwechselnd den Luftzugschieber vorn am Ofen, nahm auch zeitweise den Deckel vom Ofen und prüfte von Zeit zu Zeit die Luft auf ihren Kohlensäuregehalt, weil dieser mir als Mass der Anhäufung von Verbrennungsproducten im Zimmer gelten konnte und ich zugleich die Gelegenheit benützen wollte, bei hohem Kohlensäuregehalt meinen neuen continuirlichen Luftprüfer nach dem Kohlensäure-Massstab durch andere Kohlensäuremessungen zu controliren.

Nach 1 $^1/_2$ Stunden, als die Zimmerluft 8 Promille Kohlensäure enthielt, fühlte ich im Hinterkopf ungewohnte Pulsschläge und zwar 100 in der Minute, während ich sonst gewöhnlich 66 Pulsschläge zähle, auch war die Athmungsthätigkeit verstärkt.

Später bei 14 Promille Kohlensäure merkte ich ein Flimmern vor den Augen, welches mir das Ablesen auf einer Skala erschwerte, und fühlte ganz unzweifelhafte Anwandlungen von Mattigkeit und Schwindel, die nach 6 Uhr bei 16 Promille Kohlensäure so stark wurden, dass ich meinem Sohne, welcher im Nebenzimmer beschäftigt war und mitunter auf kurze Zeit zu mir kam, sagte: jetzt ist's genug, öffne das Fenster. — Ich lehnte mich an das offne Fenster, mit den Armen auf die Fensterbank gestützt. Auf die Frage meines Sohnes, ob er auch im Nebenzimmer das Fenster öffnen solle, antwortete ich — nach späterer Angabe meines Sohnes mit sonderbar gedrückter Stimme — ja. Dann hatte ich die Absicht einige recht tiefe Athemzüge an der reinen Luft zu thun, lag aber — nach meiner Erinnerung — im nächsten Augenblick auf dem Bett, zu meinem Erstaunen mit einem nasskalten Tuch auf der Stirne.

Es waren aber inzwischen etwa 10 Minuten verstrichen. Mein Sohn hatte sich nach Oeffnen der Fenster bereits 4 oder 5 Minuten wieder im Nebenzimmer beschäftigt, als er ein starkes Gepolter hörte, worauf er mich neben einem umgeworfenen Stuhl wie todt auf dem Fussboden liegen sah. Er und mein herbeigerufener zweiter Sohn hoben mich mit grosser Mühe auf das Bett. Meine Arme und Beine sollen sehr steif gewesen sein, meine Augen geschlossen. Auf lautes Anrufen öffnete ich die Augen, deren Blick ganz ungewöhnlich gewesen sein soll, und sagte: „Was wollt Ihr, lasst mich in Ruhe." — Davon weiss ich nichts. Erst als mir mein Sohn ein nasses Tuch auf die Stirne gelegt hatte, kam ich zum Bewusstsein und war sehr verwundert über dessen Mittheilungen.

Aus einer Beule am Hinterkopf und meiner Lage nach dem Falle vermuthe ich, dass ich schon einige Zeit bewusstlos an das Fenster gelehnt stand, dann steif zurückfiel, mit dem Kopf auf die Stuhllehne und mit dem Stuhl zu Boden.

Nachdem ich zur Besinnung gekommen, hatte ich etwas Kopfweh — möglicherweise von dem Fall auf den Kopf — und fühlte im Hinterkopf ein wahres Hämmern, 132 Schläge in der Minute. Nach einer halben Stunde hatte ich 77 Pulsschläge und nach kurzer Zeit befand ich mich wieder in ziemlich normalem Zustand, nur dass ich gelindes Kopfweh hatte und mit den Pulsschlägen, nicht in Begleitung des Athmens, ein sonderbar knarrendes Geräusch in mir vernahm, zuerst in der linken Brustgegend, später mehr gegen den Hals emporrückend. Es war mir nach zwei Stunden noch zuweilen auf kurze Zeit bemerkbar. Von wissenschaftlichem Interesse ist es beizufügen, dass ich in dem bewusstlosen Zustande etwas Harn liess, obgleich ich sonst nicht dazu geneigt bin, das unwillkürlich zu thun, und vorher kein Bedürfniss hatte.

Dieser ganze Vorgang, ohne Zweifel eine Kohlendunst-Vergiftung, wird nicht anders als durch die Wirkung des eingeathmeten Kohlenoxyds zu erklären sein, da die Kohlensäure, die sicher weniger als 20 Promille betrug, eine solche Wirkung nicht haben kann.

Hiernach kann ich nicht anders als vor der Carbonheizung ohne Schornstein in allen Räumen, die zum Wohnen, Schlafen oder sonst längerem Aufenthalt bestimmt sind, ernstlich warnen.

Laut einer Broschüre von Nieske wurden die Carbon-Natron-Oefen vielfach ohne Gummischlauch angewendet, so auch in Verkaufshallen, Museen, Aborten u. dgl. — Bei ersteren Räumen möge man nicht nur an das kurze Verweilen der Käufer und Schaulustigen denken, sondern auch an das nothwendige lange des Verkaufs- und Aufsichts-Personals. In Aborten aber ist wegen der Kleinheit des Raumes und weil man sich

da einzuschliessen pflegt, die Anwendung solcher Heizung auch nicht unbedenklich.

Empfehlungen, wenn auch in Form von Anzeigen, mögen bei einem Theil des Publikums mehr Vertrauen erwecken, wenn sie in technischen Zeitschriften zu lesen sind, weil nicht Jeder daran denkt, dass die technische Redaction mit den Annoncen nichts zu thun hat. Das „Bayerische Industrie- und Gewerbeblatt" enthält seit einiger Zeit folgende Anzeige:

„Rauch, Geruch und alle sonstigen Nachtheile der Petroleum-, Spi-„ritus- und Gasöl-Kochapparate sind beim Kochen mit Karbonatron-„Kochöfchen vollständig ausgeschlossen. Billigste Heizung, grösste Heiz-„kraft. Preis pro Stück mit 20 Kilo Karbonatron (welches als beste „Bügelkohle bekannt ist) incl. Packung Mark 10. Prospect gratis und „franco. Bayer. Blech- und Metallwaaren-Fabrik. J. Böcklein, München."

Gewiss sehr verlockend! Die Hausfrauen, welche ein solches Kochöfchen anschaffen, werden es weniger in der Küche bei offener Thür oder offenem Fenster, als vielmehr im geschlossenen Wohnzimmer benützen und sich damit die Luft für viele Stunden des Tags verderben.

Der Aufenthalt in solcher auch nur mit geringer Menge Kohlenoxyd angefüllter Luft ist für die Gesundheit nachtheilig, wenn auch selten so ungünstige Umstände zusammenkommen mögen, dass die Heizung Bewusstlosigkeit herbeiführt.

Da aber dennoch bei Benützung eines Carbon-Ofens zum Heizen oder Kochen, oder bei Anwendung des Carbons als Bügelkohle oder infolge anderer Zufälle durch Einathmung kohlenoxydhaltiger Luft eine Ohnmacht vorkommen kann, die bei längerer Dauer in den Todesschlaf übergeht, sollen hier Angaben über die nächste Behandlung des auf solche Weise Bewusstlosgewordenen nicht fehlen.

Man schicke sofort nach einem Arzte, versäume aber nicht, inzwischen Wiederbelebungsversuche ins Werk zu setzen. Zuweilen genügt es schon — wie es bei mir genügte — wenn man Thüren und Fenster öffnet, den Bewusstlosen horizontal mit nicht erhöhtem Kopfe lagert — was Prof. Dr. Nussbaum*) überhaupt für Ohnmächtige mit blasser Gesichtsfarbe empfiehlt, weil dadurch der Blutzufluss zu Gehirn und Herz begünstigt wird, während dagegen bei grossem Blutandrang gegen das Gehirn, wie bei Schlaganfällen, Lagerung mit erhöhtem Kopfe nützlich ist — und auf die Stirne ein nasses Tuch legt. Anzurathen ist das

*) Geheimrath von Nussbaum. Die erste Hilfe bei Verletzungen und einigen anderen erschreckenden Zufällen. 3. vermehrte u. verbesserte Auflage. Augsburg 1886. S. 30 u. 31.